

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Механіко-машинобудівний інститут  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації) 131. Прикладна механіка \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціальності)

на тему: Синтез технологічного процесу з формалізованим вибором первинного процесу формоутворення

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МТз-81(мп)  
(шифр групи)

Антипова Анастасія Олексіївна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник

Лашина Юлія Вікторівна  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант

\_\_\_\_\_ (назва розділу)

\_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

\_\_\_\_\_ (посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

## Завдання

## Реферат

Магістерська дисертація на тему: «Синтез технологічного процесу з формалізованим вибором первинного процесу формоутворення», Антипова А.О., Київ 2019 р.

Дипломна робота містить: 38 рис, 29 таблиць, , 3 додатки, 115 сторінок.

Актуальність. Сучасне машинобудівне підприємство існує в умовах: постійного скорочення виробничих циклів, великої варіативності продукції та жорсткої ринкової конкуренції. Оскільки від обраних процесів формоутворення буде залежати остаточна геометрія та фізичні властивості продукту, на сьогоднішній день конструкція виробу повинна проектуватись одночасно з технологічними процесами її виготовлення. Проблеми з отриманням геометрії та/або фізичних властивостей виробу, виявлені на етапі виробництва, призводять до втрат часу, збільшення тривалості циклу виробництва і зменшення конкурентоспроможності підприємства. Отже, одночасно з проектуванням конструкції вирішується питання вибору процесів формоутворення. Проблема полягає в тому, що питання конструювання і проектування технологічних процесів знаходяться в межах компетенції фахівців різних спеціальностей. Тому актуальним є питання розробки системи підтримки прийняття рішень на ранніх стадіях проектування конструкцій виробів.

Метою даної роботи є розширення можливостей автоматизованого вибору первинного процесу формоутворення на ранніх стадіях проектування та дослідження його впливу на подальше проектування технологічного процесу оброблення.

Об'єктом дослідження є технологічні процеси виготовлення виробів машинобудування.

Предметом дослідження є критерії вибору первинного процесу формоутворення на ранніх стадіях проектування.

Методи дослідження: аналіз і синтез, порівняння, формалізація, абстрагування, комп'ютерне моделювання.

Наукова новизна. Формалізовано вибір процесів лиття за невеликою кількістю ключової інформації про виріб, що дозволяє враховувати особливості формоутворення на ранніх стадіях проектування конструкції.

Практичне значення. Розроблено програмне забезпечення – прототип системи підтримки прийняття рішень при одночасному проектуванні конструкції виробу та технологічного процесу його виготовлення.

Результати дисертаційної роботи впроваджені на МПП «Донбас-Сервіс»

Апробація. Результати роботи доповідались на конференції: XV Міжнародна науково-практична конференція, Achievement of high school - 2019, 15 - 22 Листопада 2019 р., м. Софія, Республіка Болгарія

Публікації. За темою дисертації опублікована стаття:

Лашина Ю. В. Одночасне проектування конструкцій виробів і технологічних процесів їх виготовлення / Ю. В. Лашина, А. А. Антипова, Б. А. Денисенко. // Матеріали за XV міжнародна научна практична конференція, Achievement of high school - 2019 , 15 - 22 November 2019 г.: Софія.« Бял ГРАД-БГ ». – 2019. – №8. – С. 88–93.

Пропозиції щодо напрямку продовження досліджень. Подальші дослідження можуть бути виконані в напрямку: вдосконалення моделі первинного процесу формоутворення на процеси пластичного деформування, різання, 3D друку і т.д.; розробка моделі попередньої оцінки вартості реалізації процесу.

Ключові слова: одночасне проектування, паралельне проектування, система підтримки прийняття рішень, вибір процесів, формоутворення, процес лиття, технологічний процес, старт-ап.

## Зміст

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОДНОЧАСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ .....	9
1.1 Вибір матеріалів .....	9
1.2 Вибір процесів та рання оцінка вартості виготовлення виробу .....	10
1.3 Аналіз технологічності .....	12
1.4 Висновки по розділу, мета і задачі дослідження .....	14
РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВИБОРУ ПЕРВИННОГО ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ .....	15
2.1. Порівняльний аналіз процесів лиття .....	15
2.2. Систематизація результатів аналізу .....	38
2.3 Програмна реалізація вибору процесу лиття .....	43
2.4 Висновок по розділу .....	44
Розділ 3. Практична перевірка отриманих результатів .....	45
3.1. Обґрунтування вибору технологічних баз для технологічного процесу виготовлення деталі “Стакан” .....	45
3.2 Призначення типу виробництва .....	46
3.3 Визначення конструкції заготовки .....	49
3.4 Обґрунтування вибору технологічних баз для технологічного процесу виготовлення деталі .....	51
3.5. Проектування операцій оброблення загальних технологічних баз .....	59
3.6 Проектування технологічних операцій оброблення поверхонь загальних технологічних баз .....	60

3.7 Короткий опис вибору верстатного обладнання .....	66
3.8 Визначення припусків на обробку поверхні .....	68
3.9 Розрахунок режимів різання .....	76
3.10 Розрахунок сили затиску .....	83
3.11 Висновки .....	84
Розділ 4. Розробка стартап-проекту .....	85
4.1 Розробка стартап-проекту .....	85
4.2 Опис ідеї проекту .....	85
4.3 Технологічний аудит ідеї проекту .....	87
4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	87
4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	94
4.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	96
4.7 Висновки .....	99
ВИСНОВКИ .....	100
Список літератури .....	101

## ВСТУП

Машинобудівне виробництво повинно відповідати на такі виклики сучасності: скорочення виробничих циклів, велика варіативність замовлень клієнтів та жорстка конкуренція на глобальному ринку. Тому процеси створення продукції повинні гарантувати: продуктивність, гнучкість та економічну ефективність виготовлення при заданій якості. Одним з інструментів досягнення високої ефективності виробничих процесів є концепція одночасного/паралельного проектування (*англ. Simultaneous/ Concurrent Engineering*), коли конструкція виробу проектується одночасно з технологічними процесами її виготовлення [1]. Саме від обраних процесів формоутворення буде залежати остаточно геометрія та фізичні властивості виробу. Наприклад, при конструюванні деталей, які виготовлятимуться литтям, необхідно врахувати наявність ливарних уклонів, радіусів заокруглень, тощо.

Якщо проблеми з отриманням певних геометричних форм та фізичних властивостей виробу будуть виявлені на етапі виготовлення, а не проектування, це призведе до значних втрат часу, а отже до збільшення тривалості циклу виробництва продукції і зменшення конкурентоспроможності підприємства.

Паралельно з проектуванням конструкції виробу мають вирішуватись наступні питання: вибір процесів формоутворення, вибір матеріалів, оцінка вартості різних варіантів технологічних процесів. Проблема полягає в тому, що більшість з цих питань лежать поза межами компетенції фахівців однієї спеціальності. Тому паралельне проектування повинне реалізовуватись в мультидисциплінарних командах (які включають, наприклад конструкторів, технологів, інженерів з розрахунку на міцність, тощо) та/або за допомогою спеціальних інструментів автоматизованої підтримки прийняття рішень на ранніх стадіях розробки. Наявність та успішна комерціалізація програмних продуктів для аналізу та вибору матеріалів і процесів, а також оцінки технологічності на стадії проектування виробу, свідчать про актуальність вирі-

шення питань одночасного проектування. З іншого боку, деякі з розглянутих програмних продуктів мають вузьку спеціалізацію, деякі охоплюють майже весь спектр задач, але характеризуються низьким рівнем автоматизації, деякі інструменти доповнюють один одного при достатньому рівні автоматизації, але вирішують не всі задачі.

Метою даної роботи є розширення можливостей автоматизованого вибору первинного процесу формоутворення на ранніх стадіях проектування та дослідження його впливу на подальше проектування технологічного процесу оброблення.

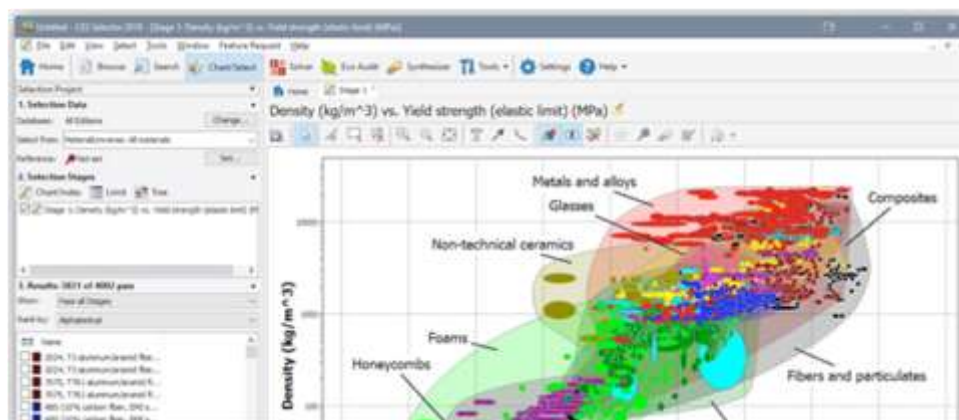
Результати роботи можуть бути використані на виробництві при проектуванні конструкцій деталей та технологічних процесів їх оброблення, у навчальному процесі та для подальшого розвитку програмного забезпечення в комерційних цілях.



## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОДНОЧАСНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

### 1.1 Вибір матеріалів

*GRANTA Selector* [3] поєднує в собі набір програмних засобів для підтримки систематичного вибору матеріалів та даних про інженерні, економічні та екологічні властивості матеріалів (рис. 1).



Джерело: <https://grantadesign.com/education/ces-selector/ces->

Рис. 1.1 Інтерфейс програмного засобу GRANTA Selector

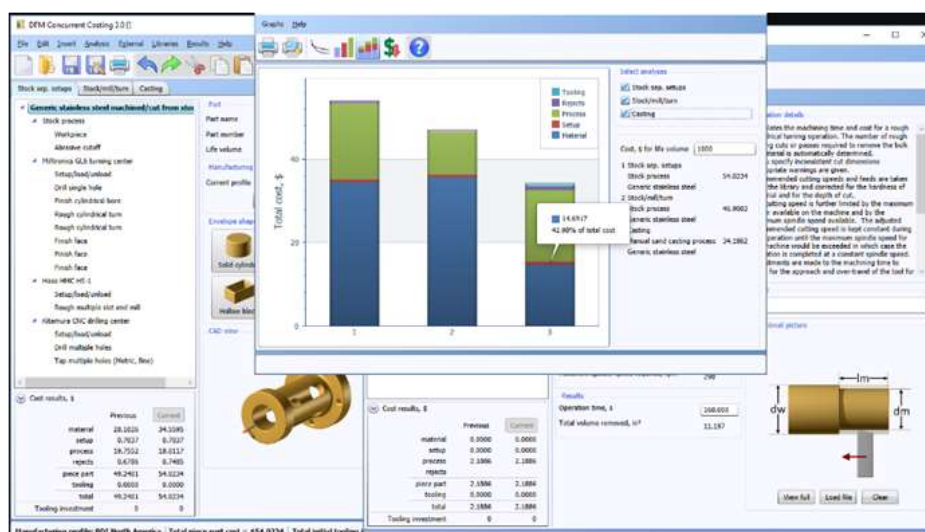
*Material Selector* – безкоштовний он-лайн довідник властивостей матеріалів з можливістю їх порівняння (рис. 1.2), розміщений на ресурсі *CustomPart.Net* [4].

Type	Density	Compressive Yield Strength	Fatigue Strength
Aluminum 319.0 T6	0.101	24700	10900
Zinc ZA-12 Casting	0.218	39000	17000
Zinc ZA-8 Die Cast	0.228	38500	14900

Рис. 1.2 Вибір матеріалів за допомогою ресурсу CustomPart.Net

## 1.2 Вибір процесів та рання оцінка вартості виготовлення виробу

*DFM Concurrent Costing (DFMA<sup>®</sup> Software)* [5] – інструмент, який дозволяє оцінити витрати, пов'язані з виготовленням виробу на ранніх стадіях його проектування. Програмний засіб дозволяє виконувати порівняння альтернативних процесів та матеріалів, а також відслідковувати вплив конструкторських змін на собівартість деталі (рис. 1.3).



Джерело: <http://www.dfma.com/pdf/dfmdescription.pdf>

Рис. 1.3 Інтерфейс DFM Concurrent Costing (DFMA<sup>®</sup> Software)

*Process Selector* – он-лайн інструмент ресурсу *CustomPart.Net* [4], який дозволяє оцінити можливість застосування різних процесів формоутворення за невеликим об'ємом початкових даних: базова геометрія деталі, матеріал, допуски розмірів та шорсткість поверхні, розмір партії та строки виготовлення (рис. 1.4). Процеси можна порівняти між собою, а також отримати розгорнуту довідку стосовно кожного з них.[16]

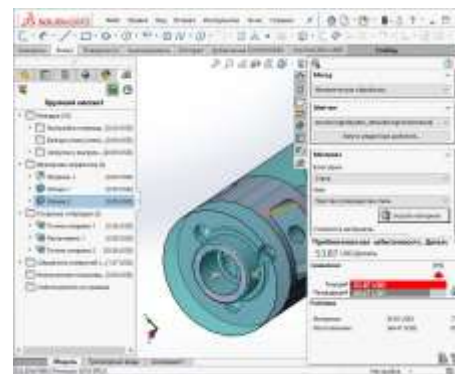


Рис. 1.4 Вибір процесів за допомогою ресурсу CustomPart.Net

*Cost Estimator* – он-лайн калькулятор вартості виготовлення деталей при використанні різних технологічних процесів [4], який дозволяє виконувати ранню оцінку на основі геометричних характеристик деталі, матеріалу та параметрів процесу (рис. 1.5, а). Перевагою цього інструменту є його доступність (використання безкоштовне).

Головним недоліком розглянутих вище систем є необхідність ручного введення даних, що істотно збільшує трудомісткість аналізу[16].

Зазначеного недоліку позбавлені модулі, які постачаються разом з CAD системами, наприклад, *SOLIDWORKS Costing* (рис. 1.5, б). Автоматизований аналіз, який базується на 3D моделі деталі, а також можливість налаштування і використання шаблонів оброблення є безсумнівною перевагою таких систем.



а) pecypc CustomPart.Net

б) SOLIDWORKS Costing

Рис. 1.5 Оцінка вартості виготовлення деталі за допомогою:

а) pecypcy CustomPart.Net; б) SOLIDWORKS Costing

### 1.3 Аналіз технологічності

Одним з найбільш відомих рішень щодо аналізу технологічності конструкції виробу є програмний засіб *DFM Pro*<sup>®</sup>, який інтегрується з CAD [6]. *DFM Pro*<sup>®</sup> дозволяє ідентифікувати нетехнологічні елементи конструкції, які в майбутньому викликать виробничі труднощі або брак (Рис. 1.6, а). Система допомагає передбачити та уникнути проблем на ранніх стадіях проектування конструкції для таких технологічних процесів: лиття в піщані форми, лиття під тиском, оброблення різанням, оброблення листового матеріалу та складання. [16]

Перевагою системи є автоматизований аналіз, який виконується на основі тривимірної моделі виробу. Серед недоліків можна назвати дуже обмежений інструментарій в частині аналізу конструкції з точки зору складання, який включає лише: аналіз елементів кріплення (доступ інструменту в зону складання, зазори та довжина зачеплення, вирівнювання отворів) та перевірку інтерференції між деталями та підскладаннями.

*DFA Product Simplification (DFMA*<sup>®</sup> *Software)* [6] – програмний продукт, розроблений спеціально для експертної підтримки проектування виробів, технологічних з точки зору складання. Програмне забезпечення включає ін-

струментарій для аналізу конструкції з точки зору: можливості скорочення кількості деталей, заміни з'єднань та підвищення технологічності окремих деталей при складанні (Рис. 1.6, б). Вартість технологічного процесу складання оцінюється на основі геометричних характеристик деталей, типів з'єднань та особливостей виконання складальних операцій. *DFA Product Simplification* і *DFM Concurrent Costing* утворюють програмний комплекс *DFMA<sup>®</sup> Software*, який є доволі потужним інструментом порівняння та вибору конструкторсько-технологічних рішень на основі економічної оцінки технологічних процесів виготовлення і складання. Головним недоліком програмного засобу є трудомісткість введення початкових даних, оскільки на сьогоднішній день воно залишається «ручною» процедурою.[16]



а) DFM Express (SOLIDWORKS)



б) DFA Product Simplification

Рис. 1.6 Оцінка технологічності виробу в середовищі

На рис. 1.7 представлений власний порівняльний аналіз розглянутих систем [16].

Назва програмного продукту	Вибір матеріалів	Вибір процесів	Оцінка вартості		Оцінка технологічності		Автоматизація отримання початкових даних
			Формоутворення	Складання	Формоутворення	Складання	
GRANTA Selector	✓	-	-	-	-	-	-
DFMA <sup>®</sup> Software	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-
CustomPart.Net	✓	✓	✓	-	-	-	-
DFM Pro <sup>®</sup>	-	-	-	-	✓	✓	✓
SOLIDWORKS Costing	-	-	✓	✓	-	-	✓

Рис. 1.7 Порівняльний аналіз систем підтримки прийняття рішень

#### **1.4 Висновки по розділу, мета і задачі дослідження**

Розглянуті системи надають доволі широкий спектр можливостей для аналізу та вибору матеріалів, процесів та оцінки технологічності на стадії проектування виробу. Кожна з них має свої переваги і обмеження.

Деякі з розглянутих програмних продуктів мають вузьку спеціалізацію, деякі охоплюють майже весь спектр задач, але характеризуються низьким рівнем автоматизації, деякі інструменти доповнюють один одного при достатньому рівні автоматизації, але вирішують не всі задачі (особливо це стосується аналізу технологічності при складанні). Отже, існує потреба в розвитку напряму автоматизації підтримки прийняття конструкторських рішень з одночасним урахуванням вимог, обмежень та економічної ефективності технологічних процесів формоутворення та складання.

Метою даної роботи є розширення можливостей автоматизованого вибору первинного процесу формоутворення на ранніх стадіях проектування та дослідження його впливу на подальше проектування технологічного процесу оброблення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Виконати порівняльний аналіз процесів первинного формоутворення (в межах даної роботи розглянути процеси лиття)
2. Систематизувати результати аналізу, розробити систему критеріїв для вибору процесу лиття на ранніх стадіях проектування
3. Розробити прототип програмного забезпечення на основі отриманих результатів
4. Виконати практичну перевірку отриманих результатів на прикладі синтезу технологічного процесу виготовлення виробу машинобудування
5. Розробити стартап-проект комерціалізації програмного забезпечення.

## **РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ ВИБОРУ ПЕРВИННОГО ПРОЦЕСУ ФОРМОУТВОРЕННЯ**

З метою розроблення системи підтримки прийняття рішень щодо вибору первинних процесів формоутворення необхідно виконати їх систематизацію з точки зору можливостей утворення геометричних форм, досягнення необхідної точності і шорсткості поверхонь, а також економічної доцільності використання.

### **2.1. Порівняльний аналіз процесів лиття**

В межах даної роботи серед первинних процесів формоутворення розглядаються лише процеси лиття [9]. На сьогоднішній день, найбільш розповсюдженими є лиття:

- у піщані форми (ручне або машинне формування);
- в багаторазові (цементні, графітові, азбестові форми);
- в оболонкові форми;
- по виплавлюваних моделях;
- за заморожуванням ртутним моделям;
- відцентрове лиття;
- в кокіль;
- лиття під тиском;
- по газифікованих моделях;
- по випалювальних моделях;
- вакуумне лиття;
- електрошлакове лиття;
- лиття з утепленням.

Проаналізуємо кожен з процесів з метою систематизації їх можливостей і обмежень, переваг та недоліків.

### 2.1.1 Лиття в піщані форми

Лиття в піщані форми – дешевий, найгрубіший, але наймасовіший (до 75-80% за масою одержуваних у світі виливків) вид лиття. Спочатку виготовляється ливарна модель (раніше — дерев'яна, в даний час часто використовуються пластикові моделі, отримані методами швидкого прототипування), копіює майбутню деталь. Модель засипається піском або формувальною сумішшю (зазвичай пісок і сполучна), що заповнює простір між нею і двома відкритими ящиками (опоками). Отвори в деталі утворюються за допомогою розміщених у формі ливарних піщаних стрижнів, що копіюють форму майбутнього отвору. Насипана в опоки суміш ущільнюється струшуванням, пресуванням або ж твердне в термічній шафі (сушильній печі). Утворилися порожнини, заливаються розплавом металу через спеціальні отвори — литники. Після охолодження форму розбивають і витягують виливок. Після чого відокремлюють ливникову систему (зазвичай це обрубка), видаляють облой і проводять термообробку [8].

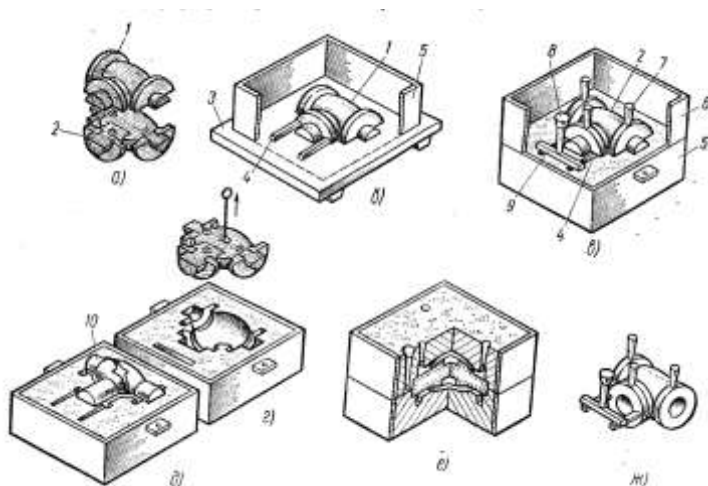


Рис 2.1 Лиття у піщано-глинисті форми



### 2.1.2 Лиття в кокіль

Нині використовують набагато досконаліші і технологічні способи виробництва литої продукції. Наприклад, лиття металу в кокіль. В принципі, цей спосіб багато в чому нагадує описаний нами вище, так як і в цьому випадку використовуються ливарні форми. Тільки при цьому вони металеві, що значно спрощує процес великосерійного виробництва [9].

Отже, в дві половинки вставляють конуси і стрижні(для заливання металу і утворення пустот), а потім міцно скріплюють їх один з одним. Все, можна приступати до роботи. Особливість даного способу в тому, що тут розплавлений метал надзвичайно швидко застигає, є можливість примусового охолодження форм, а тому і процес випуску йде значно швидше. За допомогою одного тільки кокіля можна отримати сотні, а то й тисячі, виливків, не витрачаючи при цьому багато часу на індивідуальну підготовку форм і формувальних сумішей.[18]



Рис 2.2 Лиття в кокіль

Лиття в піщано-глинисті форми та в кокіль схожі, вони використовуються для середньосерійного та багатосерійного підприємств.

#### Переваги лиття в кокіль

1. Підвищення продуктивності праці в результаті виключення трудомістких операцій виготовлення суміші, формування, очищення виливків від пригару.

2. Підвищення якості виливка, обумовлене використанням металевої форми, підвищення стабільності показників якості: механічних властивостей, структури, щільності, шорсткості, точності розмірів виливків.

3. Усунення або зменшення обсягу шкідливих для здоров'я операцій вибивання форм, очищення виливків від пригару, їх обрубки, загальне покращення та поліпшення умов праці, менше забруднення навколишнє середовище.

4. Механізація і автоматизація процесу виготовлення виливка, обумовлена багаторазовістю використання кокіля [18].

#### Деякі недоліки методу

1. Висока вартість кокіля, складність і трудомісткість його виготовлення.

2. Обмежена стійкість кокіля, вимірювана числом придатних виливків, які можна отримати в даному кокілі. Від стійкості кокіля залежить економічна ефективність процесу.

3. Складність отримання виливків з поднутреннями, для виконання яких необхідно ускладнювати конструкцію форми – робити додаткові роз'єми, використовувати вставки, роз'ємні металеві або піщані стрижні.

4. Непіддатливий кокіль призводить до появи у виливках напруг, а іноді до тріщин [3].

### **2.1.3 Лиття по виплавлених моделях**

Як і в самому першому розглянутому нами випадку, людство здавна знало про метод заливки розплавленого металу в заздалегідь підготовлену модель, зроблену з парафіну або воску. Модель кладуть в опоку і забивають проміжки формувальної сумішшю. Розплав розчиняє віск і ідеально заповнює весь обсяг первинної заготовки. Даний метод кращий тим, що модель не потрібно діставати з опоки. Крім того, при цьому можливе отримання дета-

лей просто ідеальної якості, даний процес лиття металів порівняно легко автоматизувати [9].



Рис 2.3 Лиття по виплавленим моделям

#### **2.1.4. Лиття в оболонкові форми**

Лиття в оболонкові форми — спосіб одержання фасонних виливків з металевих сплавів у формах, що складаються із суміші піщаних зерен (зазвичай кварцових) і синтетичного порошку (зазвичай фенолоформальдегідної смоли і пудра-бакеліту). Переважно застосування плакованих піщаних зерен (покриваних шаром синтетичної смоли).

Оболонкову форму отримують одним з двох методів. Суміш насипають на металеву модель, нагріту до 300 °С, витримують протягом декількох десятків секунд до утворення тонкого зміцненого шару, надлишок суміші видаляють. При використанні плакованої суміші її вдувають в зазор між нагрітою моделлю і зовнішньої контурною плитою. В обох випадках необхідне зміцнення оболонки в печі (при температурі до 400 °С) на моделі. Отримані оболонкові напівформи скріплюють, і в них заливають рідкий сплав. Щоб уникнути деформації форм під дією заливається сплаву перед заливанням їх поміщають у металевий кожух, а простір між його стінками і формою заповнюють металеві дробом, наявність якої впливає також на температурний режим охолоджується виливки.

Цим способом виготовляють різні виливки масою до 25 кг. Перевагами способу є значні підвищення продуктивності в порівнянні з виготовленням виливків литтям в піщані форми, управління тепловим режимом охолодження виливки і можливість механізувати процес. [13]

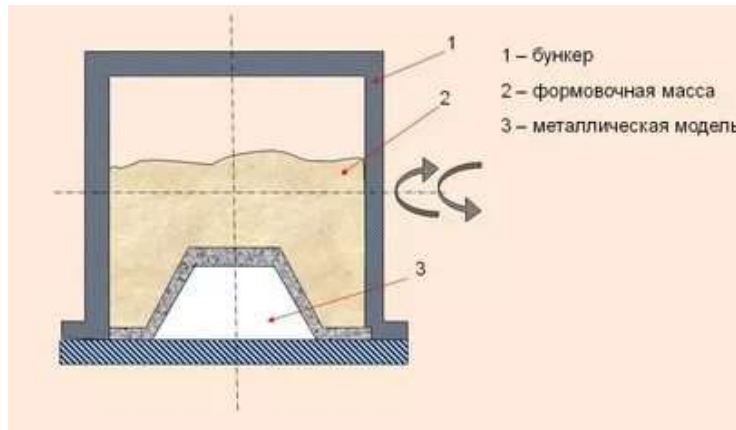


Рис. 2.4 Лиття в оболонковій форми

### 2.1.5 Відцентровий спосіб лиття

Відцентровий спосіб лиття застосовується головним чином для отримання порожнистих виливків типу тіл обертання (втулок, обичайок для поршневих кілець, труб, гільз) з кольорових і залізвуглецевих сплавів, а також біметалів. Сутність способу полягає в заливці рідкого металу в обертову металеву або керамічну форму (виливницю). Рідкий метал за рахунок відцентрових сил відкидається до стінок форми, розтікається уздовж них і твердне [13].

При розглянутому способі лиття виливки виходять щільними, очищеними від газів і неметалевих включень, з дрібнозернистою структурою.

Відцентрове лиття високопродуктивне (за 1 год можна відлити 40 -50 чавунних труб діаметром 200 -300 мм), дає можливість отримувати порожнисті виливки без застосування стрижнів і Біметалічні виливки послідовною заливкою двох сплавів (наприклад, сталі і бронзи).

Поряд з високою продуктивністю і простотою процесу відцентровий спосіб лиття порівняно з литтям у стаціонарні піщано-глинисті і металеві форми забезпечує більш високу якість виливків, майже усуває витрата металу на прибутку і випори, збільшує вихід придатного литва на 20 -60 %.

До недоліків способу слід віднести високу вартість форм і обладнання і обмеженість номенклатури виливків.

Чаші використовують два варіанти способу, в яких розплав заливається в форму з горизонтальною або вертикальною віссю обертання. У першому варіанті отримують виливки – тіла обертання малої і великої протяжності, у другому – тіла обертання малої протяжності і фасонні виливки.

Найбільш поширеним є спосіб лиття пустотілих циліндричних виливків в металеві форми з горизонтальною віссю обертання. За цим способом (рис. 2.5) виливок 4 формується в полі відцентрових сил з вільною циліндричною поверхнею, а формотворною поверхнею служить внутрішня поверхня виливниці. Розплав 1 з ковша 3 заливають в обертову форму 5 через заливальний жолоб 2. Розплав розтікається по внутрішній поверхні форми, утворюючи під дією поля відцентрових сил пустотілий циліндр. Після затвердіння металу і зупинки форми виливок 4 витягують. Даний спосіб характеризується найбільш високим технологічним виходом придатного (ТВГ = 100%), так як відсутня витрата металу на ливникову систему [13].

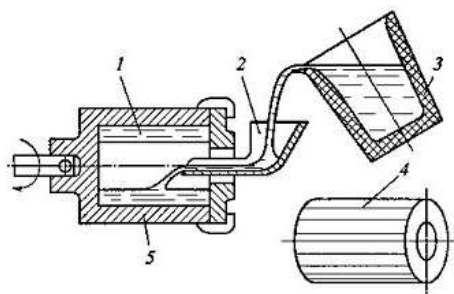


Рис. 2.5 Відцентровий спосіб лиття. Схема отримання виливки при обертанні форми навколо горизонтальної осі: 1 – розплав; 2 – заливний жолоб; 3 – ківш; 4 – виливок; 5 – форма

При отриманні виливків з вільної параболічної поверхнею при обертанні форми навколо вертикальної осі (рис. 2.6) розплав з ковша 1 заливають у форму 2, закріпленій на шпинделі 3, що наводиться в обертання електродвигуном 4. Розплав 5 під дією відцентрових і гравітаційних сил розподіляється по стінках форми і твердне, після чого обертання форми припиняють і витягують з неї затверділу виливок 6.

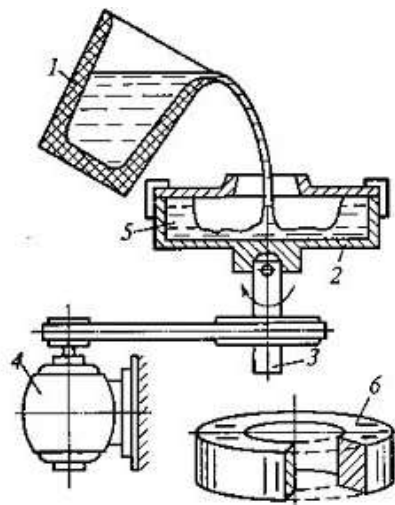


Рис.2.6 Відцентрове лиття. Схема отримання виливків при обертанні форми навколо вертикальної осі: 1 – ківш; 2 – форма; 3 – шпиндель; 4 – електродвигун; 5 – розплав; 6 – відливка

Виливки з внутрішньою поверхнею складної конфігурації отримують з використанням стрижнів (рисунок 2.7, а) у формах з вертикальною віссю обертання. Так відливають, наприклад, вінці зубчастих коліс. Розплав з ковша через заливальне отвір і стояк 1 надходить в центральну порожнину форми 2, виконану стрижнями 3 і 4, а потім під дією відцентрових сил через щілинні живильники – у робочу порожнину форми. При цьому надлишок металу в центральній порожнині форми 5 виконує роль прибутку, забезпечуючи живлення виливка при затвердінні.

Дрібні фасонні виливки можна отримувати відцентровим литтям в піщані форми (рисунок 2.7, б). Частини форми 1 і 2 встановлюють на відцент-

ровий стіл і кріплять на ньому. При необхідності використовують стрижні 4. Робочі порожнини 3 повинні розташовуватися симетрично щодо осі обертання для забезпечення балансування форми. Розплав заливають через центральний стояк, з якого по радіальних каналах він потрапляє в порожнині форми. Технологічний вихід придатного при такому способі лиття наближається до виходу придатного при литті в піщані форми. При відцентровому литті можна використовувати піщані, металеві, оболонкові і об'ємні керамічні, а також комбіновані форми.[9]

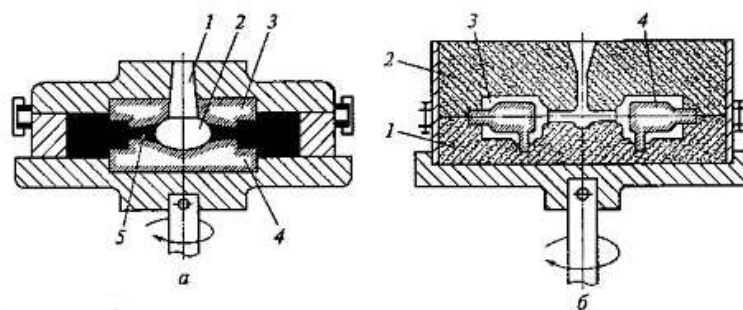


Рис. 2.7 Відцентрове лиття. Схема одержання фасонних виливків: а – вінець шестерні: 1 – стояк; 2 – центральна порожнину форми; 3 і 4 – стрижні; 5 – прибуток; б – дрібні фасонні виливки: 1 – нижня півформа; 2 – верхня півформа; 3 – робоча поверхня форми; 4 – стрижень

#### Особливості формування виливка

Головна особливість формування виливків при відцентровому способі лиття полягає в тому, що заповнення форми металом і затвердіння виливки відбуваються у полі дії відцентрових сил, у багато разів перевершують силу тяжіння.

В цих умовах, якщо тверді частинки стикаються зі стінкою форми, вони виявляються притиснутими до стінки і вже не спливають. На цьому засновано використання сипучих покриттів для металевих форм при відцентровому литті.

Дія відцентрових сил необхідно враховувати і при конструюванні систем шлакозатримання і живлення виливка, наприклад, при отриманні сталевих фасонних виливків відцентрової заливкою в піщані форми.

#### **2.1.6 Лиття по газифікованих (випалюваних) моделях**

Цей спосіб багато в чому аналогічний литтю по виплавлюваних моделях.

Лиття по випалюваних моделях-виготовлення виливків вільної заливкою розплавленого металу (рис 2.8) в разову форму, робоча порожнина якої отримана після випалювання моделі, виготовленої з каніфолі, блочного полістиролу, пінополістиролу та інших пластмас в прес-формах.

Спосіб застосовують у випадках, коли моделі повинні бути міцними і термостійкими. Його використовують для виготовлення виливків з будь-яких ливарних сплавів, масою від десятка грамів до сотень кілограмів з товщиною стінки до 1 мм. Можливе виготовлення компактних суцільнолитих вузлів зі складними лабіринтними порожнинами, які не можуть бути виконані іншими методами [10].



Рис. 2.8 Приклади виливків, отриманих методом лиття по випалюваним моделям

Метод включає наступні основні операції.



Спочатку зі спеціального матеріалу виготовляють копію майбутнього виробу з необхідними припусками на усадку і подальшу механічну обробку. Потім на отриману модель наносять кілька шарів (до двадцяти) керамічних порошків з силікатною сполучною, просушуючи її після нанесення кожного шару. В результаті навколо неї утворюється міцна жаростійка оболонка-кірка (рис. 2.9) [10].

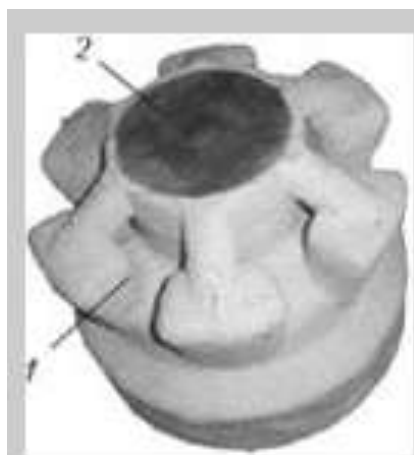


Рис.2.9 Остаточний вигляд вогнетривкої кірки 1 з моделлю 2 перед випалюванням

Далі форму поміщають в піч і досить довгий час витримують при високій температурі або в повітряному середовищі, або з подачею кисню - для більш повного і швидкого згоряння моделі. На наступному етапі кірку поміщають в піщану опоку – свого роду буфер, який дозволяє зберегти температуру форми (рис. 2.10) [10].

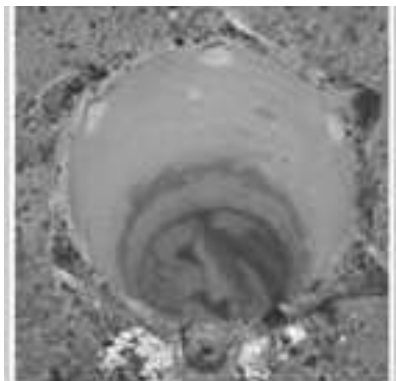


Рис.2.10 Вид зверху на вогнетривку кірку в опоці після випалювання моделі

Залишки моделі, що залишилися у формі обвуглені, видаляють продувкою стисненим повітрям (інакше виливок вийде неякісною).

По завершенні продувки в гарячу кірку заливають метал. Після заливки форма остигає, потім кірку руйнують і витягують виливок.

Для випалюваних моделей застосовують матеріали, що згорають на повітрі або в кисневому середовищі з низькою зольністю. Це, наприклад, каніфоль. Блочний полістирол, пінополістирол, поліамід та інші пластмаси. Раніше моделі отримували в прес-формах (аналогічно виплавлюваним моделям). Зараз все більш широке застосування знаходять методи, пов'язані з синтезом моделі на основі процесів, названих в технічній літературі швидким прототипування. Зразки моделей, отриманих прототипуванням, показані на рис. 2.11.

Зразки випалюваних моделей з полістиролу, отримані з використанням технологій прототипування [10].



Рис. 2.11 Зразки випалюваних моделей з полістиролу, отримані з використанням технологій прототипування

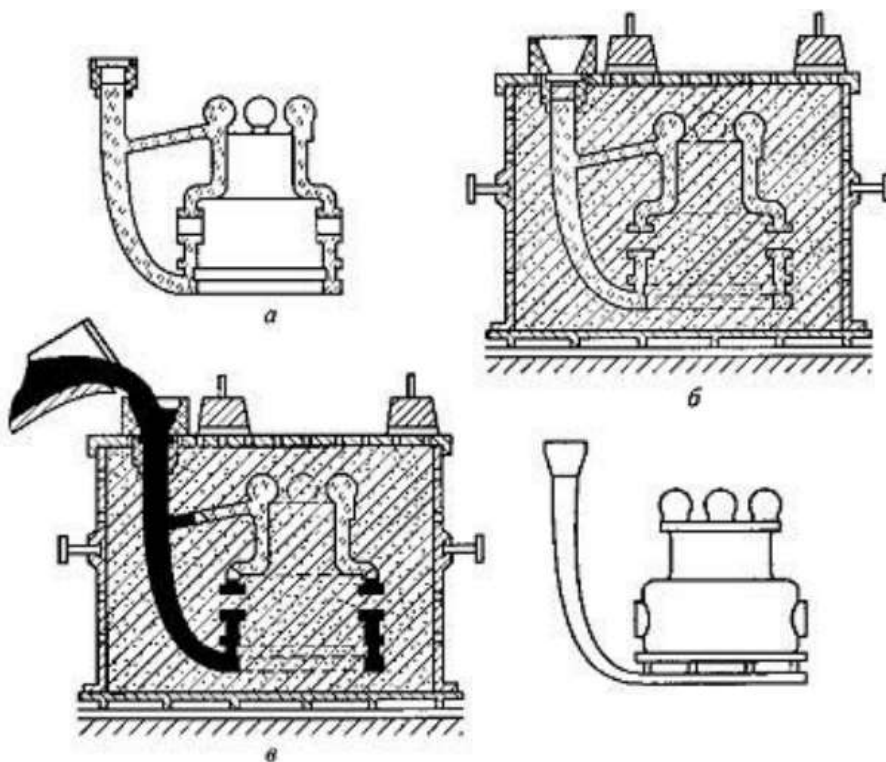


Рис.2.12 а-пінополістирольна модель виливка; б-форма, підготовлена до заливки; в – заливка форми, газифікація моделі; г-виплинок з елементами ливникової системи

### 2.1.7 Лиття під тиском

Лиття під тиском — це відносно стара технологія, вона використовується з кінця 1800-х років [6]. У інжекторно-ливарних машинах встановлений величезний гвинт (шнек), який направляє розплавлений пластик в прес-форму під високим тиском. Цей метод гвинтової передачі був винайдений в 1946 році, і використовується до цих пір [11].

Машини для лиття під тиском — це, звичайно, не те ж саме, що сучасні високотехнологічні апарати для 3D-друку. У них немає нічого інноваційного, але використання лиття під тиском — це обов'язкова умова для створення більшості нових залізних продуктів.

Ливарна прес-форма складається з двох половинок (матриці і пуансона), які при змиканні утворюють порожнину у формі потрібної деталі. У неї під високим тиском заливають гарячий рідкий пластик.

Високий тиск необхідно для того, щоб пластик в в'язкотекучому стані заповнив кожен куточок в порожнині прес-форми.

Коли пластик остигає, дві половинки прес-форми розсуваються, і з них витягують готову деталь корпусу.

Розробка дизайну і конструкції корпусу для серійного виробництва — це досить складне завдання, а вартість самих прес-форм обчислюється десятками тисяч доларів. При цьому лиття під тиском залишається однією з найбільш затребуваних технологій, тому що тільки воно дозволяє виробляти мільйони ідентичних деталей за неймовірно низькою ціною за штуку.

#### Технічний процес [11]

Процес лиття під тиском

Перший етап, це розкриття прес-форми і мастило. Це необхідно для того, щоб готовий виливок легко відходив від порожнин прес-форми і метал в

поршні не застигав до того, як він буде запресований. Також утворюється плівка, яка допомагає стабілізувати температур[11]

Другий етап, це змикання прес-форми. Зусилля змикання прес-форми це та характеристика, яка за сучасною класифікацією дає назву всій машині, тобто, наприклад, якщо у машини лиття під тиском в назві є цифра 300, то її зусилля змикання 3000 кіло-Ньютонів або 300 тонн і вона є аналогом машини лиття під тиском 711A08 за Радянською класифікацією. Іншими словами така машина здатна стримати метал, який створює зусилля, що прагне розкрити прес-форму в триста тонн.

Третій етап, це заливка металу в поршень. Після змащення прес-форми і поршня робочий зачерпує з печі необхідну кількість металу і заливає його в горловину поршня[11].

Четвертий етап, це запресовування металу. Поршень під впливом пневматики, в яку як правило закачаний азот, здійснює поступальний рух і закачує метал в камеру пресування.

П'ятий етап, це зняття готового виробу.

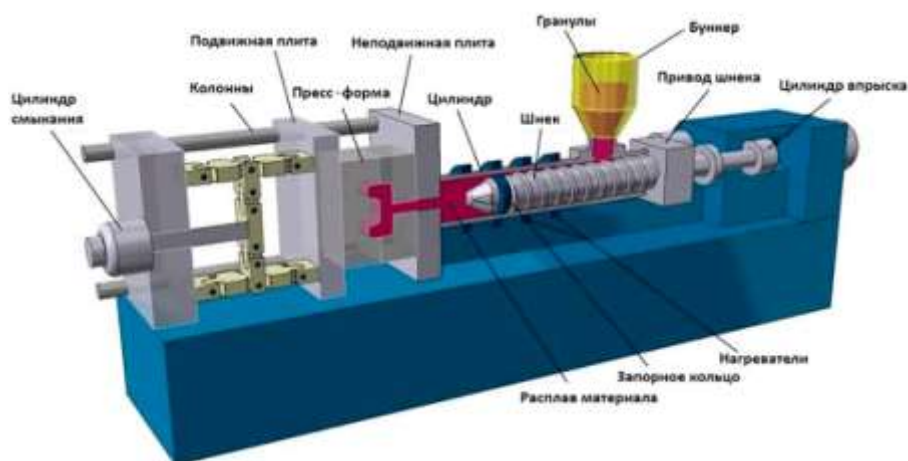


Рис.2.13 Машина для лиття під тиском (ілюстрація компанії Rutland Plastics)

### Ливарні машини з гарячою камерою пресування

Машини лиття під тиском з гарячою камерою пресування найчастіше використовуються для лиття сплавів на основі цинку або латуні. Це необхідно оскільки температура плавлення латуні більше 900 градусів Цельсія. Якщо для лиття цинку або латуні використовувати звичайну машину лиття під тиском з холодною камерою пресування, то прес-форма буде відчувати підвищені теплові навантаження і перепади температур, що призводить до швидкого зносу форми і падіння якості виливків. У машині лиття під тиском з гарячою камерою пресування камера занурена в розплав, що дозволяє підтримувати постійну температуру прес-форми, зменшити перепади температур і підвищені теплові навантаження, що продовжує термін служби форми[11] .

### Ливарні машини з холодною камерою пресування

Такі машини використовуються для лиття під тиском алюмінієвих, магнієвих, мідних сплавів. Лиття в прес-форми відбувається під тиском від 35 до 700 МПа. Машини лиття під тиском з холодною камерою пресування відрізняються від машин лиття під тиском з гарячою камерою пресування відсутністю "гузняка" і більш низькими температурами експлуатації.

#### **Переваги:**

- висока продуктивність;
- висока якість поверхні (5-8 класи чистоти для алюмінієвих сплавів);
- точні розміри литого виробу (3-7 класи точності);
- мінімальна потреба в механічній обробці виробу.
- Низька пористість виробу
- Висока щільність виробу

**Недоліки:**

- обмежена складність конфігурації виливка (пов'язана з тим, що при відділенні виливки від ливарної форми можуть відбуватися пошкодження);
- обмежена товщина виливка (розплав рівномірніше твердне, якщо виріб тонкий).
- Складне, дороге оснащення

**2.1.8 Лиття по заморожуваним моделям**

В іноземній практиці застосовують моделі з ртуті, яку для цієї мети заморожують до температури  $-73^{\circ}$  (температура плавлення ртуті близько  $-39^{\circ}$ ).

Ртутні моделі в порівнянні з восковими мають ряд переваг:[9]

- менше об'ємне розширення при переході з твердого стану в рідкий (у ртуті  $-3,47\%$ , у воскового складу  $-9\%$ );
- зручність з'єднання окремих частин моделі і елементів ливникової системи; з'єднання — «зварювання» проводиться легким натиском (велика швидкість самодифузії);
- велика міцність.

За ртутними моделями виготовляють нероз'ємні форми, службовці для виробництва тонкостінних виливків з титану, жаротривких сталей і кольорових сплавів діаметром до 1100 мм. і вагою до 140 кг

Процес виготовлення форм по ртутним моделям складається з наступних операцій.

1) Заливка ртуті в сталеву прес-форму. Зазвичай такі прес-форми збираються з двох частин і розділяють їх плити, щоб отримати модель по частинах.

2) Поступове опускання прес-форми з ртуттю в суміш сухого льоду і ацетону, температура якої становить  $-73^{\circ}$ . Повільне занурення прес-форми забезпечує спрямоване затвердіння ртутної моделі знизу вгору, що дає мож-

ливість уникнути усадочних порожнин, заповнити всі поглиблення прес-форми і точно відтворювати обрис моделі.

3) Видалення розділяє плити після закінчення заморожування ртуті і з'єднання половин моделі в одне ціле.

4) Заливка, заморожування і витяг ртутних моделей ливникової системи, одержуваних в спеціальних прес-формах.

5) «Зварювання» ртутного модельного комплексу шляхом приєднання під натиском моделей. на загальному літнику.

6) Занурення ртутного комплексу, що має температуру  $-63^{\circ}$ , в керамічний розчин для створення першого найтоншого шару оболонки та просушування його протягом декількох хвилин при низькій температурі.

7) Занурення комплексу в другій більш в'язкий керамічний розчин і просушування шару протягом більш тривалого часу, ніж для першого шару. Таким же чином наносяться і всі наступні шари.

8) Виплавлення замороженої ртуті з готової форми, яке проводиться вимиванням рідкої ртуті, що заливається в стояк при кімнатній температурі.

9) Прожарювання оболонкової нероз'ємної форми. Ця операція необхідна для видалення летючих складових і проводиться протягом 2 год. При температурі  $1010^{\circ}$  з подальшим охолодженням на повітрі.

10) Заливка форми. Для кращого заповнення порожнини форми рідким металом оболонкові форми рекомендується підігрівати перед заливкою. Після цього оболонка поміщається в ящик, і засипається сталевим дробом або великим піском. Заливку форм, отриманих по ртутними, виплавленим моделям слід вести під вакуумом, тому що пари ртуті шкідливі для здоров'я людей. Крім того, такий метод заливки дає можливість отримувати тонкостінні виливки з якісною структурою металу[9].



### 2.1.9 Лиття по випалюваним моделям

Суть методу лиття металів і сплавів по випалюваним моделям полягає в наступному. Спочатку зі спеціального матеріалу виготовляється копія майбутнього виробу з необхідними припусками на усадку та подальшу механічну обробку, для випалюваних застосовують матеріали, згораючі на повітрі або в кисневому середовищі з малим змістом диму і сухих залишків (як кажуть професіонали — з низькою зольністю) [9].

Потім на отриману модель наносять в кілька шарів (до двадцяти) керамічні порошки з силікатною сполучною, просушуючи модель після нанесення кожного шару. В результаті навколо моделі утворюється міцна жаростійка оболонка-кірка, в яку потім і буде проведена заливка розплавленого металу.

Але перед заливкою модель необхідно якимось чином видалити (рис.2.14). Потім форма поміщається в піч і досить довгий час витримується при високій температурі або в повітряному середовищі, або з подачею кисню — для більш повного і швидкого згорання моделі (тому, власне, модель і називається випалюваною).

Для видалення продуктів горіння форма продувається стисненим повітрям. Якщо дозволяють умови, то перед заливкою формі дають охолонути до температури навколишнього повітря, а зольні залишки вимивають струменем води або видувать. Правда, таке видалення сухих залишків не завжди можливо: при охолодженні до кімнатної температури на кірці може з'явитися павутина тріщин. По випалювальним моделям відливають і високохудожні предмети (наприклад, статуетки), і вироби машинобудування (компресорні колеса насосів і перекачувальних пристроїв) — в обох випадках виготовлення іншими способами неможливо або більш затратно [9].

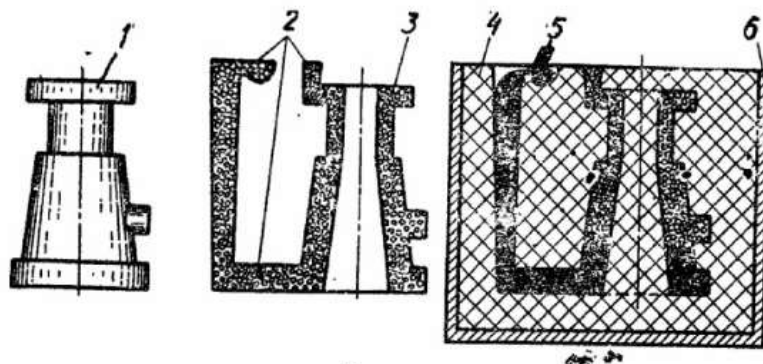


Рис.2.14 Креслення відливної деталі і моделі

На (рис. 2.14) наведено креслення відливної деталі 1 і нероз'ємної моделі, що відрізняється від неї наявністю живильника 2. Моделі живильниками припаюють до загального легкоплавкому стояку 3, і в результаті отримують блок моделей. Щоб виготовити ливарну форму, готовий блок моделей занурюють у вогнетривку суміш, що представляє собою суспензію маршаліту (60..70 %) у гідролізованому етілсилікаті (30..40. %). Після занурення на моделях, живильниках і стояку залишається тонка вогнетривка плівка суміші 4. Ця ж суміш заповнює всі порожнини і отвори в моделях, утворюючи стрижні. Для зміцнення вогнетривкої плівки блок моделей посипають дрібним сухим кварцовим піском 5. Прилипаючи до сирій плівці, пісок утворює вогнетривкий шар, який сушать або на повітрі, або поміщаючи блок моделей в аміачну камеру для прискореної хімічної сушки. Коли шар висихає, операції занурення, посипання піском і сушки повторюють від 3 до 5 разів. Після сушіння останнього вогнетривкого шару отримують форму у вигляді багатошарової оболонки з заформованими легкоплавкими моделями [9].

#### 2.1.10 Електрошлакове лиття

Сутність процесу електрошлакового лиття полягає в переплаві електродра, що витрачається, у водоохолоджувальній металевій формі (кристалізаторі).

При цьому операції розплавлення металу, його заливання й витримка виливка у формі сполучені по місцю й часу.

Схема виготовлення виливків електрошлаковим литтям представлена на рис 2.15.[19]

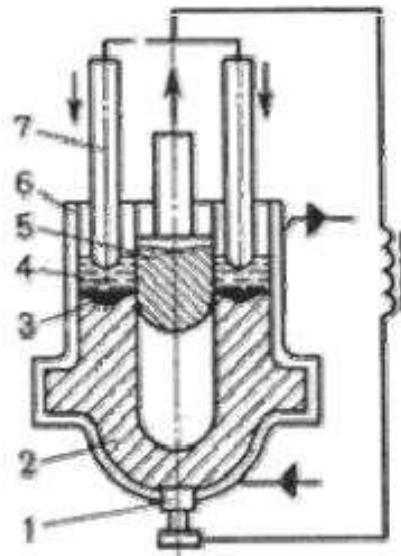


Рис 2.15 Схема виготовлення виливків електрошлаковим литтям

У якості електрода, що витрачається, використовується прокат. У кристалізатор 6 заливають розплавлені шлаки 4 (фторид кальцію або суміш на його основі), що володіє високим електроопором. При передаванні струму через електрод 7 і запал 1 виділяється значна кількість теплоти, і жужільна ванна нагрівається до  $1700^{\circ}\text{C}$ , відбувається оплавлення електрода. Краплі розплавленого металу проходять через розплавлений шлаки й утворюють під ним металеву ванну 3. Вона у водоохолоджувальній формі затвердіє послідовно, утворюючи щільну без усадочних дефектів виливок 2. Внутрішня порожнина утворюється металевою вставкою 5 [12].

Розплавлені шлаки сприяють видаленню кисню, зниженню змісту сірки й неметалічних включень, тому одержують виливки з високими механічними й експлуатаційними властивостями.

Виготовляються виливки відповідального призначення масою до 300 тонн: корпуса клапанів і засувок атомних і теплових електростанцій, колінчаті вали суднових двигунів, корпуса посудин надвисокого тиску, ротора турбогенераторів [19].

**Таблиця 2.1.Методи виготовлення виливків, їх особливості та область застосування [13]**

Багаторазові форми				
Спосіб виготовлення виливка		Маса виливка, т	Матеріал	Область застосування й особливості способу
Лиття у форми. Піщано-глинисті форми		70	Сталь, чавун, кольорові метали та сплави	Великі та середні виливки у серійному виробництві
Лиття у кокіль		7(чавун), 4(сталь), 0,5 (кольорові метали та сплави)	Сталь, чавун, кольорові метали та сплави	Фасонні виливки у крупносерійному та масовому виробництвах (поршні, корпуса, диски, коробки подачі, салазки)
Лиття під тиском	На машинах з горизонтальними та вертикальними камерами пресування	0,10	Магнієві, алюмінієві, цинкові та свинцево-олов'яні сплави, сталь	Виливки складної конфігурації (трійники, коліна, кільця електродвигунів, деталі приборів, блок двигуна)
	З застосуванням вакуума	0,05	Мідні сплави	Щільні виливки простої форми

Відцентрове лиття на машинах з віссю обертання:			
Вертикальною	0,05	Чавун, сталь, бронза та ін..	Виливки типу тіл обертання(вінці, шестерні, бандажи, колеса, фланці, шківни, маховики), двуслойні заготовки(чавун-бронза, сталь-чавун), при $l:d < 1$
Горизонтальною	0,60		Труби, гільзи, втулки, вісі при $l:d > 1$
Похилою ( кут нахилу 3-6°)	1,0		Труби, вали, слітки
Вертикальною, не збігається з геометричною віссю вилівки)	0,01		Фасонні виливки, які не є тілами обертання (важіль, вилки, гальмівні колодки)
Штапування рідких сплавів	До 0,30	Кольорові сплави	Злитки, фасонні виливки з глибокими порожнинами (турбінні лопатки, деталі арматури високого тиску)
З кристалізацією під поршневим тиском	0,01	Чавун та кольорові сплави	Масивні та товстостінні виливки без газових раковин та пористості; можна отримати ущільнені заготовки з нелітейних матеріалів (чистий алюміній)
Лиття вичавлювання	Панелі розміром до 1000x2500 мм з товщиною 2,5-5 мм	Магнієві та алюмінієві сплави	Великогабаритні виливки, у тому числі ребристі
Вакуумне лиття	0,01	Сплави на мідної	Невеликі великі типа тіл обертання

		основі	тання(втулки, гільзи)
Лиття під низьким тиском	0,030	Чавун, алюмінієві сплави	Тонкостінні сплави з товщиною стінки 2 мм при висоті 500-600 мм (головки блока циліндрів, поршні, гільзи)
Неперервне лиття	Труби діаметром 300-1000 мм	Сталь, чавун, кольорові метали та сплави	Листи, заготовки круглого перерізу(злитки, труби, вали)

## 2.2. Систематизація результатів аналізу

Результати виконаного аналізу систематизовані за такими критеріями: залежність вибору процесу лиття від геометричної форми деталі, від маси виливка, від товщини стінки виливка, від шорсткості поверхні, розміру партії.

### 2.2.1. Залежність вибору способу лиття від базової геометрії деталі

Якщо розглядати технологічний процес з точки зору його можливостей утворення певної форми, то він може бути: рекомендованим; можливим для застосування, але з підвищеною складністю; взагалі непридатним. На рис. 2.16 представлений зв'язок між базовою геометрією деталі і процесами лиття, які можуть бути застосовані для її отримання.

Процеси первинного формоутворення повинні обиратись таким чином, щоб отримати якомога більше властивостей та геометричних характеристик деталі [9]. Для отримання поверхонь, та їх властивостей, які не можуть бути утворені за допомогою цих процесів призначаються процеси подальшого оброблення (наприклад, механічне оброблення, термообробка, тощо) [15].

	Тонкостінна плоска	Тверда: складна	Плоский лист	Вигнутий лист	Тонкостінна, складна
Лиття в піщано-глинисті форми	●	●			●
В кокиль	●	●			●
По виплавлюваних моделях	●	●	●	●	●
Під тиском	●	●			●
Електрошлакове лиття	●	●	●		●
Лиття в оболонкові форми	●	●	●	●	
Відцентровий спосіб лиття	●	●	●	●	●

Рис. 2.16 Вибір процесу лиття в залежності від базової геометрії деталі

### 2.2.2 Залежність вибору процесу від маси деталі

Результати порівняльного аналізу подані у виді гістограми рис. 2.17, на якій представлені можливості та обмеження процесів лиття щодо отримання виливків певної маси. [15]

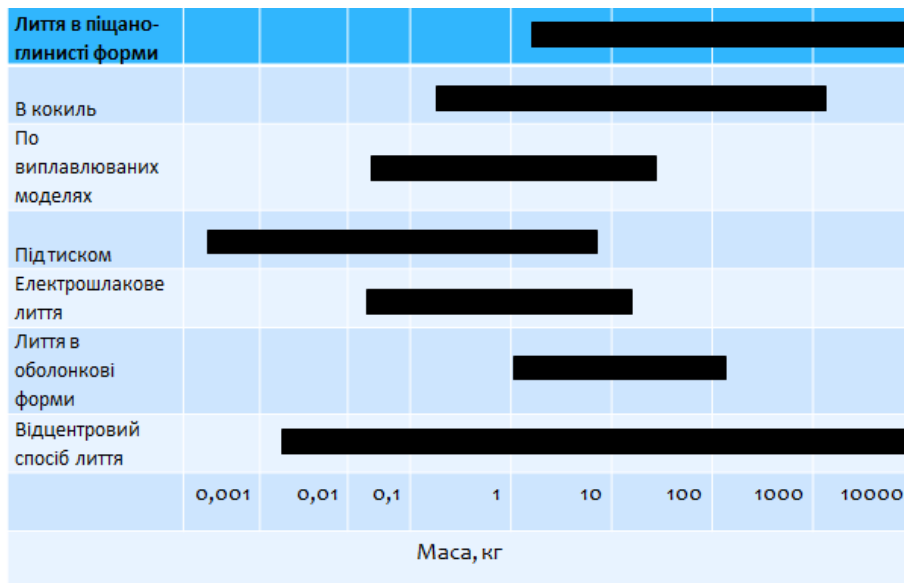


Рис.2.17 Вибір процесу лиття в залежності від маси виливка

### 2.2.3 Залежність вибору процесу від товщини технологічного перерізу

На рис.2.18 представлені обмеження процесів лиття за мінімальною та максимальною товщиною стінки заготовки. Так, наприклад, поверхневий натяг і тепловий потік обмежують мінімальну товщину стінки заготовки, отриманої за допомогою гравітаційного лиття. Використання лиття під тиском або попереднього нагріву форми дозволяє отримувати стінку меншої товщини. Для заготовок з технологічними перерізами менше 1 мм використовуються процеси оброблення листового металу або оброблення різанням. [15]



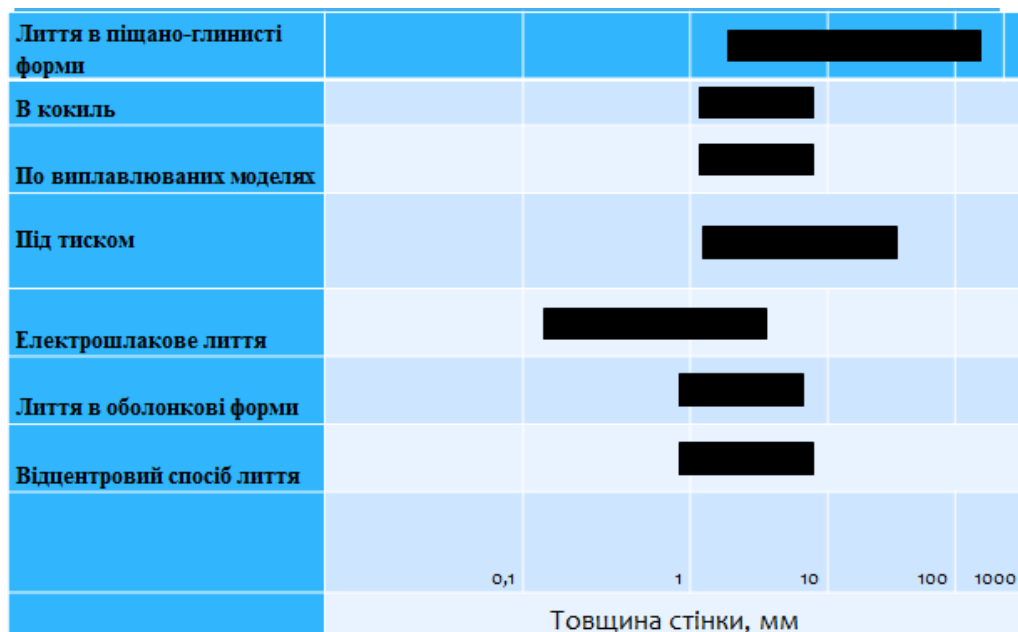


Рис.2.18 Вибір процесу в залежності від товщини стінки виливка

#### 2.2.4 Залежність вибору процесу від допусків розмірів

Точність розмірів оцінюють по відхиленню дійсного розміру виливка від номінального (рис.2.19). Найбільш часто розмірну точність виливків оцінюють класами точності, прийнятими в машинобудуванні, так як система допусків повинна забезпечувати сполучення і взаємозамінність деталей машин і приладів. Для характеристики системи допусків необхідні посадки, передбачені в ній. Тому питання про точність розмірів виливків повинно зводитись до визначення повних полів розсіювання розмірів і встановлення класів точності застосовуваних систем і допусків, в поля яких вкладаються поля розсіювання дійсних розмірів деталей. Повне поле розсіювання залежить від допусків на розміри порожнини прес-форми, непостійності (коливання) усадки сплаву, модельного складу, властивостей оболонки при різних температурах [15].

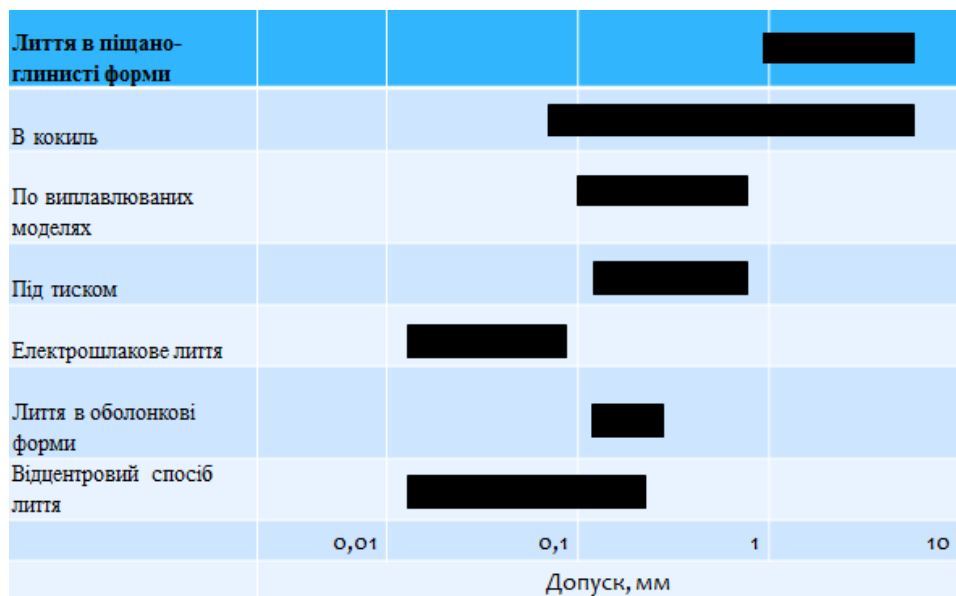


Рис.2.19Вибор процесу від допусків розмірів

### 2.2.5 Залежність вибору процесу від шорсткості поверхні

Результати порівняльного аналізу представлені у виді гістограми (рис.2.20), на якій позначені можливості та обмеження процесів лиття по одержуваній шорсткості поверхні [15].

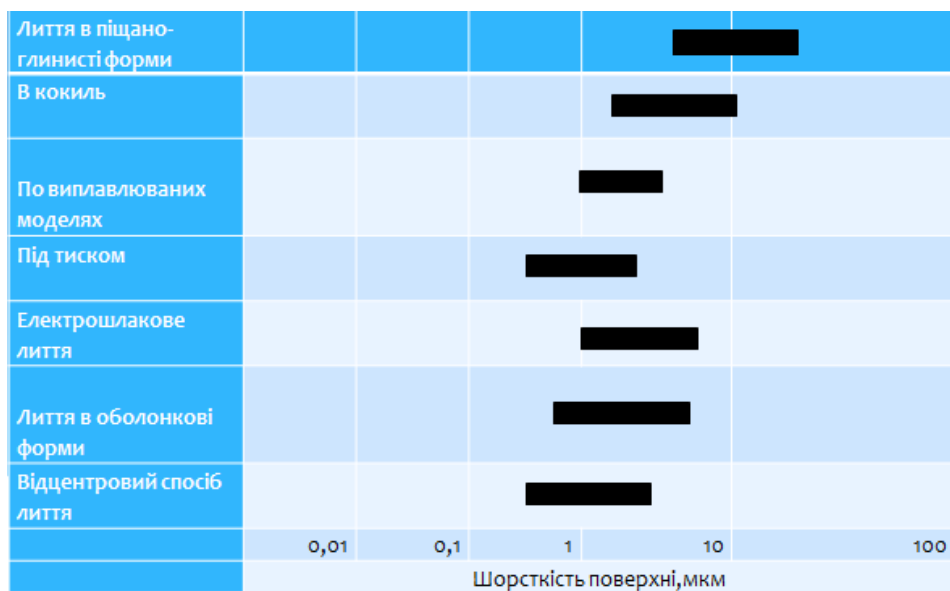


Рис. 2.20 Вибор процесу від шорсткості поверхні

### 2.2.6 Залежність вибору процесу від об'єму випуску

Вартість процесу залежить від великої кількості незалежних змінних. Вплив багатьох факторів виробництва на вартість процесу зведений до одного показника: економічно доцільний розмір партії, отриманий на основі виробничого досвіду (рис. 2.21)[15].

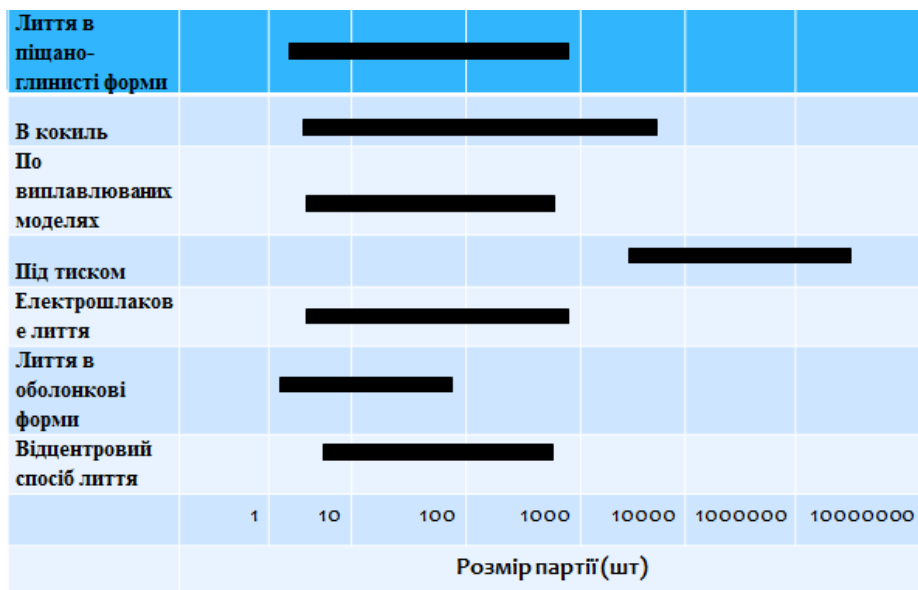


Рис. 2.21 Вибір процесу в залежності від об'єму випуску

### 2.3 Програмна реалізація вибору процесу лиття

З метою практичної перевірки розробленої методики вибору первинного процесу формоутворення було розроблене програмне забезпечення «CustomParts», фрагмент вихідного коду якого наведений у додатку В. Інтерфейс програми (рис. 2.22) містить такі складові: введення початкових даних – базується на основних параметрах деталі, визначених в розділі 2.2., таблиця відповідності процесів лиття обраним параметрам деталі. Символ «✓» означає, що процес може забезпечити певну характеристику деталі, а символ «☐» відповідно означає неможливість отримання зазначеної характеристики за допомогою цього процесу. Якщо рядок таблиці містить лише «✓» – це свідчить про придатність процесу для отримання необхідної форми і характеристик

виробу. Необхідно пам'ятати, що у разі неможливості отримання всіх параметрів деталі за допомогою 1-го процесу, використовують додаткові процеси (наприклад, оброблення різанням, термообробка, полірування і т.д.). В межах першого прототипу програмного забезпечення вибір послідовності процесів не реалізований.



Рис. 2.22 Інтерфейс програмного забезпечення *CustomParts*

## 2.4 Висновок по розділу

Виконаний порівняльний аналіз процесів первинного формоутворення, а саме лиття, дозволив розробити систему критеріїв для вибору процесу на ранніх стадіях проектування за невеликою кількістю початкової інформації. Результати систематизації використані при розробці прототипу програмного забезпечення *CustomPart*, який може бути застосований для підтримки прийняття рішень при одночасному проектуванні конструкції виробу та технології його виготовлення.

### **Розділ 3. Практична перевірка отриманих результатів**

#### **3.1. Обґрунтування вибору технологічних баз для технологічного процесу виготовлення деталі “Стакан”**

##### **3.1.1. Аналіз службового призначення та умов роботи деталі в вузлі**

Деталь "Стакан" (рис.3.1) є елементом складальної одиниці “Стакан підшипника” (рис.1.2). Стакан підшипника T50-1701253 призначений для установки в ньому підшипника для вторинного вала коробки передач. На вторинному валу встановлені нерухомі шестерні: 6-ий передачі, блоку ведених шестерень 2-ий і 5-ої передач, блоку ведених шестерень передачі до диференціалу і 3-ої передачі, і дві рухливі шестерні: 4-ої передачі і заднього ходу і шестерні 1 -ої і сповільненій передачі.

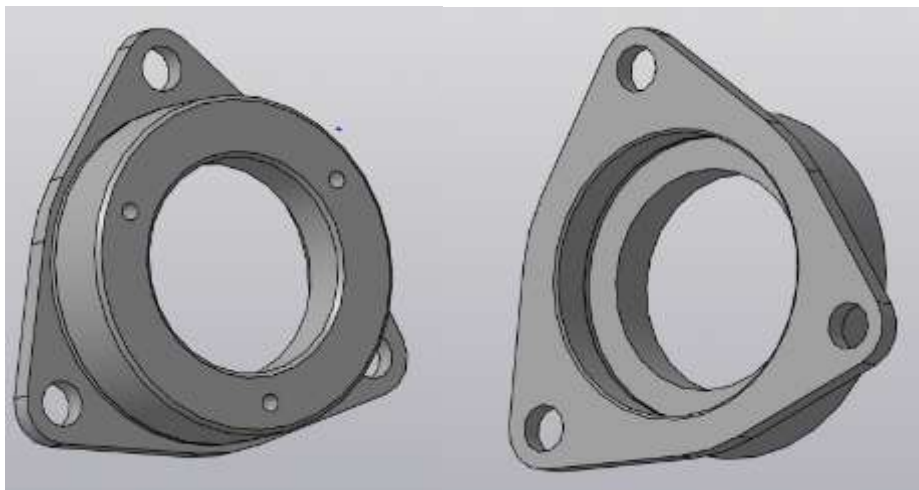


Рис. 3.1 Стакан

##### **3.1.2 Аналіз конструктивних особливостей деталі та її класифікація**

Стакан підшипника входить в пристрій і має круглу форму з отвором в конструкції. Безпосередньо в стакан зазвичай встановлюється підшипник, який був заздалегідь зібраний і завдяки цьому досягається більш надійне з'єднання елементів. Стакан зменшує знос підшипника і виготовляється зі сталі і чавуну.

### 3.1.3 Аналіз умов роботи деталі в складальній одиниці або вузлі

Підстава елемента забезпечується декількома отворами для подальшого кріплення болтами і гайками. У більшості випадків між стаканом підшипника і тим агрегатом, на який він монтується, кладеться прокладка. У стакані підшипника краще циркулює мастило. Проточка, виконана на зовнішній поверхні стакана, полегшує складання і зменшує довжину поверхні, що шліфується

### 3.1.4 Аналіз вибору конструкційного матеріалу

Матеріал деталі – Сталь 45Л

Область застосування: зубчасті колеса та венці, гальмові диски, муфти, кожухи, опорні ковші, шприци, направляючі диски, кулачки та інші відповідальні деталі, до яких пред'являються вимоги підвищеної міцності та високої опору зносу, що працюють під впливом статичних та динамічних навантажень. Стяжні кільця плаваючих головок підігрівачів і теплообмінників, що працюють при температурі від -30 до + 450 ° С під тиском.

C	Si	Mn	S	P
0.42 - 0.5	0.2 - 0.52	0.45 - 0.9	до 0.06	до 0.06

Таким чином, матеріал деталі відповідає поставленим до нього вимогам. [17]

## 3.2 Призначення типу виробництва

Тип виробництва – це класифікаційна категорія виробництва, що виділяється за ознаками широти номенклатури, регулярності та обсягу випуску виробів.

Однією з основних характеристик типу виробництва є коефіцієнт закріплення операцій ( $K_{zo}$ ), який визначається як відношення кількості всіх операцій, що виконуються або повинні виконуватись протягом базового відрізка часу до загальної кількості робочих місць.

*Коефіцієнт закріплення операцій* – це відношення числа всіх різних технологічних операцій, які виконано чи належить виконати протягом місяця, до числа робочих місць. (ДСТУ 2974-95).

*Операція* – це закінчена частина технологічного процесу, що виконується на одному робочому місці, над однією деталлю, одним або кількома інструментами, одним або групою робітників (ДСТУ 2391-94).

*Робоче місце* — це елементарна одиниця виробничої структури, що містить частину простору виробничого підрозділу, яка потрібна для здійснення трудової операції та оснащена матеріально-технічними засобами, використовуваними в процесі праці (ДСТУ 2960-94).

Коефіцієнт закріплення операції розраховується за формулою:

$$K_{з.о} = \frac{\sum_{i=1}^n ОП_i}{\sum_{j=1}^n РМ_j} \quad (3.1)$$

де  $K_{з.о}$  - коефіцієнт закріплення операції, розрахований на місяць;  $ОП$  - загальна кількість операцій, які виконуються на дільниці на протязі місяця;  $РМ$  – кількість робочих місць на дільниці, які виконують відмінні технологічні операції.

Оскільки на даному етапі роботи ще невідомо ні кількість всіх операцій, ні кількість робочих місць, то неможливо визначити коефіцієнт закріплення операцій, та доцільно використовувати аналогові методи визначення типу виробництва. Оскільки відомо що маса деталі складає  $M_s=1,48\text{кг}$ , а річний обсяг випуску  $N_p=5000$  деталей на рік, то призначимо тип виробництва згідно наступної таблиці.

Таблиця 3.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску деталей одного найменування, шт		
	легкі, масою до 20 кг	середні, масою (20...30) кг	Важкі, масою більше 30 кг
Одиничне	до 100	до 10	1...5
Мало серійне	101...500	11...200	6...100
Середньосерійне	501...5000	201...1000	101...300
Великосерійне	5001...50000	1001...5000	301...1000
Масове	більше 50000	більше 5000	більше 1000

Отже, для зазначених вище умов виробництва, приймаємо середньосерійний тип виробництва. Для такого типу виробництва встановлено  $K_{30} = 8$ . [17]

Оскільки для даної деталі призначений середньосерійний тип виробництва, необхідно визначитись з подальшою стратегією обробки деталі:

1. Оброблення всіх поверхонь деталі з застосуванням універсальних верстатів з ручним керуванням;
2. Оброблення всіх поверхонь деталі з застосуванням верстатів з ЧПК;
3. Комбінована. (Виконання чорнових та спеціальних операцій на верстатах з ручним керуванням, або на зношених верстатах з ЧПК, і чистового на верстатах з ЧПК підвищеної точності);

Остання є найбільш збалансованою, оскільки виконання чорнових операцій на верстатах з ЧПК призводить до прискореного зносу верстатного обладнання, та зниження їх точності. Саме тому верстати з ЧПК рекомендується застосовувати лише на етапах чистового та завершального оброблення.

Для даної деталі вибираємо останню стратегію.





користання підведення металу зверху через прибутку при поєднанні по можливості функцій прибутку і стояка.

Прибутки виконують частіше в піщаних стрижнях або використовують інші способи підвищення теплової ізоляції прибутків. Литникові канали повинні бути покриті досить товстим шаром вогнетривкої облицювання, щоб уникнути охолодження рідкої сталі і надмірного нагріву кокіля. Температура кокіля не повинна перевищувати рекомендованих в таблиці 3.2 значень, так як при більшій температурі знижується його стійкість, а також і пластичні характеристики металу виливки.[8]

Температура заливки вуглецевих сталей, що містять 0,2 - 0,4% вуглецю, зазвичай становить 1450 - 1500оС.

Стійкість кокіля істотно залежить від тривалості витримки в ньому виливків. Тому сталеві виливки прагнуть вибивати з кокіля відразу ж після застудіння. Маса деталі розрахована в програмі КОМПАС (рис 3.3).

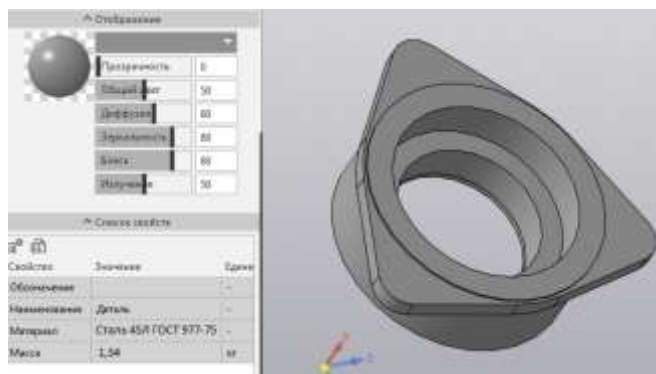


Рис. 3.3 Розрахунок маси виливка в КОМПАС

Маса виливка такої конфігурації орієнтовно буде на 5-15% більше від маси деталі

$$m_v = k \cdot m_d = 1,15 \cdot 1,48 = 1,702 \text{ кг}$$

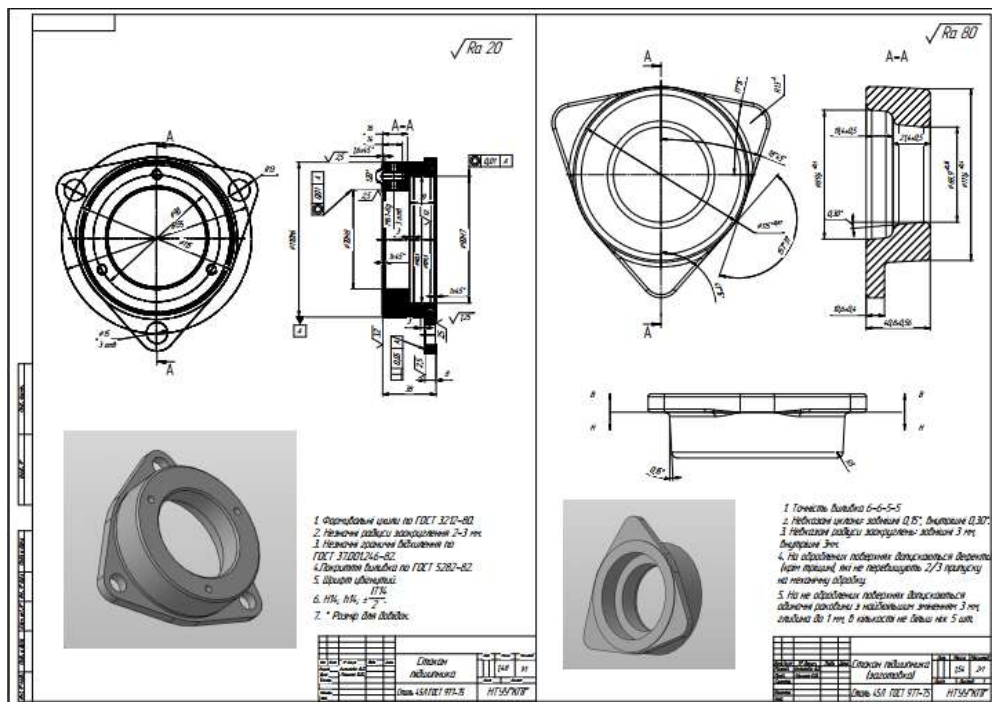


Рис.3.4— Креслення деталі та заготовки «Стакан підшипника»

### 3.4 Обґрунтування вибору технологічних баз для технологічного процесу виготовлення деталі

Алгоритм обґрунтування вибору технологічних баз передбачає послідовне виконання таких етапів:

- обґрунтування вибору загальних технологічних баз (ЗТБ);
- обґрунтування вибору технологічних баз (ТБ) для перших операцій технологічного процесу (ТП);

#### 3.4.1 Обґрунтування вибору загальних технологічних баз

Вихідними даними для вибору ЗТБ є робочий кресленик деталі і вузла в який входить задана деталь.

Для обґрунтування необхідно виконати класифікацію поверхонь деталі за службовим призначенням.

Конструкції будь-якої деталі можна представити як сукупність чотирьох видів поверхонь:

- основні конструкторські бази (ОКБ);
- допоміжні конструкторські бази (ДКБ);
- кріпильні поверхні (КП);
- вільні поверхні (ВП);

Класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням (Поз.1) наведена на рис. 3.5.

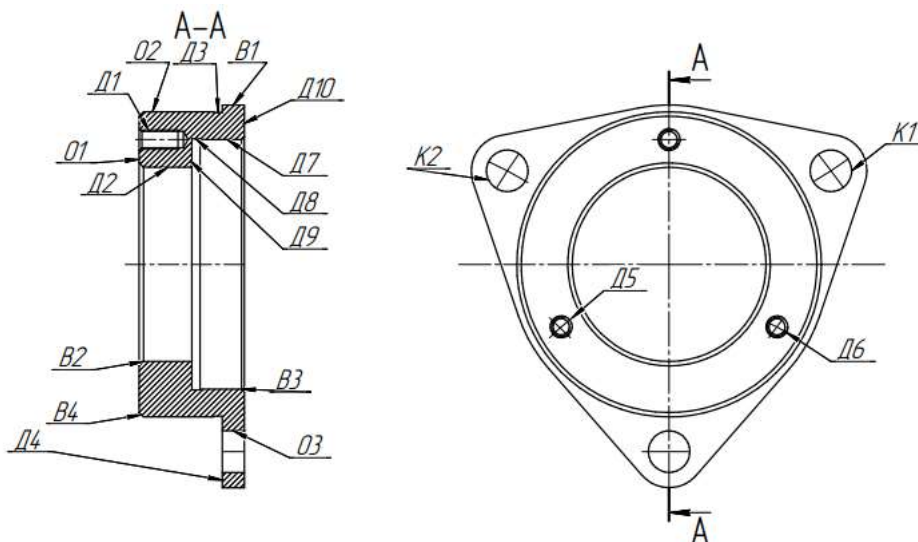


Рис. 3.5 - Класифікація поверхонь деталі за службовим призначенням (Поз.1)

- ОКБ - поверхні деталі, які визначають положення даної деталі в складальній одиниці або вузлі.
- ДКБ – поверхні деталі, які визначають положення приєднаних до неї деталей.

- КП - поверхні деталей, які забезпечують фіксацію положення деталей, що приєднуються.

- ВП – додаткові поверхні деталі, які створюють єдиний геометричний образ деталі.

Основною конструкторською базою «Корпусу» є площина О1, та отвори О2-О3. Допоміжними конструкторськими базами є поверхні Д1-Д7. Кріпильними поверхнями є отвори К1-К6. Інші поверхні є вільними поверхнями В1-В11.

У відповідності принципу суміщення технологічних баз, перевіряємо можливість використання поверхонь основних конструкторських баз в якості загальних технологічних баз (ЗТБ).

Принцип суміщення технологічних баз полягає в тому, що в якості технологічних баз вибирають сукупність поверхонь, які одночасно є конструкторською і вимірювальною базами.

Принцип незмінності баз полягає в тому, що при виконанні більшості технологічних операцій використовують у якості технологічної бази одну і ту ж поверхню заготовки.

Аналіз типових технологічних процесів свідчить, що для деталі "Корпус" можливо реалізувати принцип суміщення технологічних баз.

Поверхні, які входять в комплект загальних технологічних баз, повинні мати найбільш сприятливі характеристики якості. Комплект загальних технологічних баз повинен забезпечувати просту установку заготовки, надійність закріплення, найбільш просту конструкцію пристосування.

Розглянемо базування по загальним технологічним базам.

Базування на площину та отвір (Поз. 1)

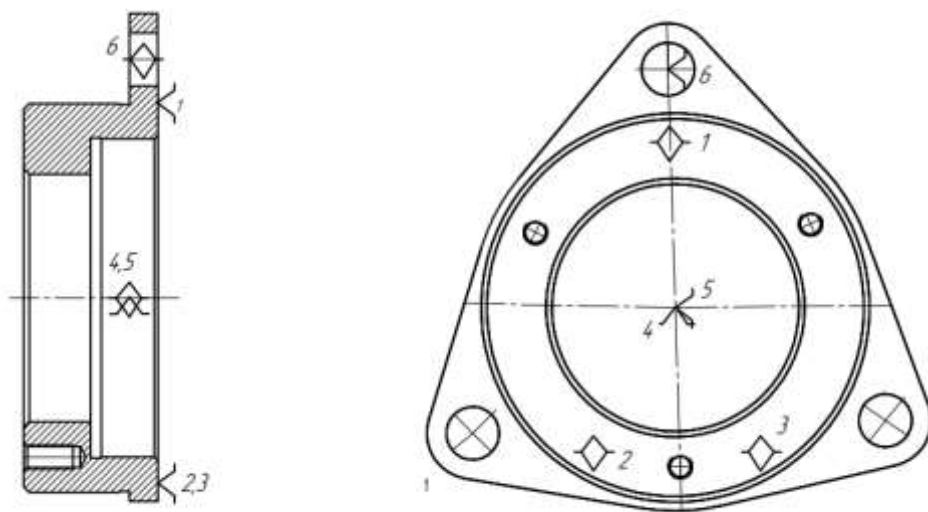


Рисунок 3.6— Теоретична схема базування по загальним технологічним базам

Структурна формула схеми базування по загальним технологічним базам має вид:

$$СБ_{ЗТБ} \Rightarrow У(3) + ПО(2) \quad (3.2)$$

Конструктивна реалізація такої схеми базування передбачає використання відповідних установочних елементів, тобто для реалізації У(3) та ПО(2) використовується трьох кулачковий самоцентруючий патрон, затиск заготовки відбувається через внутрішню циліндричну поверхню Д7, та упирається в прилеглий торець Д9.

Базування на площину та отвір (Поз. 2)

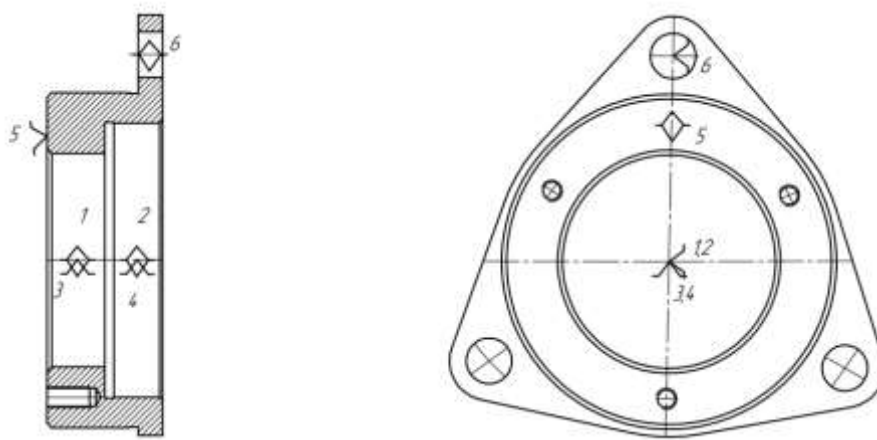


Рис.3.7 Теоретична схема базування по загальним технологічним базам

Структурна формула схеми базування по загальним технологічним базам має вид:

$$СБ_{зтб} \Rightarrow У(3) + ПО(2) \quad (3.3)$$

Конструктивна реалізація та кої схеми базування передбачає використання відповідних установочних елементів, тобто для реалізації У(3) та ПО(2) використовується трьох кулачковий самоцентруючий патрон, затиск заготовки відбувається через внутрішню циліндричну поверхню Д2, та упирається в прилеглий торець О1.

Разом з тим, наведені схеми базування по загальним технологічним базам не можуть забезпечити операції технологічного процесу оброблення даної деталі. За таких умов, необхідно використовувати додатковий комплект загальних технологічних баз. Найчастіше при вирішенні даного завдання, для другого комплекту загальних технологічних баз доцільно використовувати поверхні допоміжних конструкторських баз. Оскільки такі поверхні відсутні, то можна використати комплект вільних поверхонь, але для цього підвищуємо вимоги до точності (IT8) їх оброблення та зменшення параметрів шорсткості поверхні ( $Ra \leq 1,25$ ). Відповідно, дві можливі теоретичні схеми базування по другому комплекту загальних технологічних баз наведена на рис.3.6.

Рисунок 3.6-Теоретична схема базування по загальним технологічним базам

Структурна формула схеми базування по технологічним базам має вид:

$$CB_{ЗТБ} \Rightarrow Y(3) + PO(2) + O(1) \quad (3.4)$$

Реалізація: Конструктивна реалізація такої схеми базування передбачає використання трикулачкового самоцентрувального патрону для реалізації установочної бази  $Y(3)$ , одна опорна база  $O(1)$  реалізується осьовим упором та друга опорна база  $O(1)$  реалізується радіальним упором.

Переваги: легка реалізація, забезпечує оброблення поверхонь першого комплексу загальних технологічних баз (ЗТБ).

Недоліки: Використання другого комплексу загальних технологічних баз буде створювати похибку базування, що повинно бути враховано при розрахунках припусків на оброблення відповідних поверхонь.

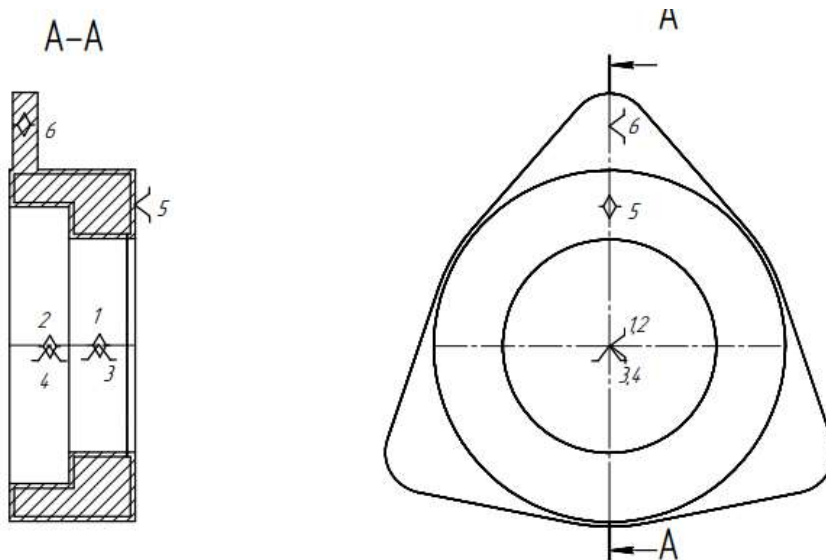


Рис.3.8 Теоретична схема базування по загальним технологічним базам



Структурна формула схеми базування по технологічним базам має вид:

$$CB_{ЗТБ} \Rightarrow Y(3) + PO(2) + O(1) \quad (3.5)$$

Реалізація: Конструктивна реалізація такої схеми базування передбачає використання трикулачкового самоцентрувального патрону для реалізації установочної бази  $Y(3)$ , одна опорна база  $O(1)$  реалізується осьовим упором та друга опорна база  $O(1)$  реалізується радіальним упором.

Переваги: легка реалізація, забезпечує оброблення поверхонь першого комплекту загальних технологічних баз (ЗТБ).

Недоліки: Використання другого комплекту загальних технологічних баз буде створювати похибку базування, що повинно бути враховано при розрахунках припусків на оброблення відповідних поверхонь.

#### **3.4.2 Обґрунтування вибору технологічних баз для перших технологічних операцій**

На другому етапі вибору технологічних баз необхідно визначити схему базування для перших технологічних операцій. Загальною вимогою до всіх можливих схем базування є забезпечення оброблення комплекту поверхонь загальних технологічних баз.

При виборі поверхонь, які входять в комплект технологічних баз у відповідності за їх призначенням та ступенями вільності, яких вони полишають, доцільно враховувати наступні геометричні співвідношення:

- площа установочної бази повинна забезпечувати максимальну площу силового трикутника;
- напрямна база повинна забезпечувати найбільшу відстань розміщення опорних елементів, тобто мати максимальну довжину.

Вихідним документом для вибору технологічних баз для перших операцій є кресленик заготовки. З урахуванням узагальнених завдань проектування технологічних процесів, практичного досвіду виробництва та за ре-

зультатами наукових досліджень процесів оброблення різанням розроблено такий алгоритм вибору технологічних баз для перших операцій технологічного процесу:

- в якості технологічних баз необхідно приймати необробні поверхні заготовки. Такий вибір базових поверхонь буде забезпечувати після оброблення правильну просторову розташування необробних поверхонь заготовки відносно обробних;

- якщо всі поверхні заготовки за креслеником деталі є обробними, то в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні, які мають найменший припуск. Такий вибір базових поверхонь буде забезпечувати усунення можливості виникнення браку при подальшому обробленні таких поверхонь;

- якщо відсутні поверхні з мінімальним припуском, а його величина є достатньо рівномірною, то в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні заготовки, на яких виникнення браку не допускається;

- в якості технологічних баз необхідно приймати поверхні заготовки, для яких необхідно забезпечити рівномірний припуск для наступних етапів оброблення;

- якщо є декілька можливих конкурентних схем базування по технологічним базам, то в якості технологічних баз, необхідно приймати варіант базування в якому обробна поверхня зв'язана з базовою поверхнею найкоротшими розмірними ланцюгами.

Необхідно приймати до уваги, що кожна схема базування вирішує певні технологічні завдання, тому в залежності від найбільш важливих технологічних завдань і визначається схема базування для перших технологічних операцій.

Обираємо схеми базування представлену на рис.3.8 незважаючи на незначну похибку. Її доцільно використати в технологічному процесі для першої технологічної операції.

### 3.5. Проектування операцій оброблення загальних технологічних баз

На попередньому етапі проектування технологічного процесу оброблення необхідно визначити типові послідовності оброблення поверхонь. Для всіх обробних поверхонь заготовки визначаємо типові послідовності оброблення з урахуванням, що оброблення будемо виконувати на багатоцільових верстатах з ЧПК на базі фрезерно-розточувальних верстатів. Тому типові послідовності оброблення поверхонь (рис.1.8) орієнтовані на застосуванні технологічних переходів фрезерування, свердління та розточування. Визначені типові послідовності оброблення наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Послідовність обробки поверхонь деталі «Стакан»

№ поверхні	За кресленням		Послідовність оброблення	Після оброблення	
	IT	Ra;мкм.		IT	Ra;мкм.
Д1,Д5,Д6	8	10	Свердління Зенкерування фаски Нарізання нарізі	12 8	12,5 10
Д2	8	2,5	Точіння чорнове Точіння получистове	12 9	7 2,5
Д3	9	6,3	Розточування чорнове Розточування получистове	12 9	7 6,3
Д4	7	2,5	Проточка чорнова Проточка получистова	12 7	10 2,5
О1	8	3,2	Проточка чорнова Проточка получистова	12 8	10 3,2
О2	9	2,5	Точіння чорнове Точіння получистове	129	7 2,5
Д7	7	1,25	Проточка чорнова	12	10

			Проточка получистова	9	5,0
			Проточка чистова	7	1,25
Д8	9	6,3	Розточування чорнове	12	7
			Розточування получистове	9	6,3
Д9	8	6,3	Точіння чорнове	14	10
			Точіння получистове	8	2,5
Д10	8	2,5	Точіння чорнове	14	10
			Точіння получистове	8	2,5
К1,К2,О3	10	6,3	Свердління	10	6,3
В1	14	20	-	-	-
В2	10	10	Зенкерування чорнове	10	10
В3	10	10	Зенкерування чорнове	10	10
В4	10	10	Зенкерування чорнове	10	10

### 3.6 Проектування технологічних операцій оброблення поверхонь загальних технологічних баз

**Мета:** сформувати найкращий варіант маршрутного технологічного процесу для того, щоб на його базі розробити операційний технологічний процес, який буде найкраще задовольняти усім вимогам точності виготовлення, трудомісткості та, відповідно, собівартості. Підібрати основне технологічне обладнання та оснащення операцій.

Технологічний процес будемо розробляти згідно рекомендацій по розробці структури технологічного процесу:

1. В першу чергу обробляються поверхні заготовки, що є базами для наступного оброблення;
2. Кожна наступна технологічна операція або перехід повинні покращувати показники якості обробленої поверхні;
3. Чорнове оброблення поверхонь зі значним припуском потрібно виділяти в окрему операцію та не суміщати з наступним обробленням;

4. В цілях своєчасного виявлення браку на поверхнях, для яких брак не допускається, їх оброблення необхідно передбачувати на перших етапах технологічного процесу;

5. На перших операціях технологічного процесу необхідно передбачити зняття максимально можливих припусків з відповідальних поверхонь, що оброблюються;

6. Завершальне оброблення найбільш відповідальних поверхонь необхідно виконувати на завершальному етапі технологічного процесу, що виключає випадкове руйнування поверхні та забезпечує максимальний проміжок часу на старіння;

7. Технологічні переходи в операціях потрібно розміщувати в такій послідовності, щоб довжина переміщень інструменту з найменшою стійкістю була мінімальною;

8. На етапі чорнового оброблення в першу чергу необхідно оброблювати поверхні, зняття припуску з яких в найменшій мірі знизить жорсткість заготовки;

9. Поверхні з точним взаємним положенням розташування необхідно оброблювати на одній операції за одну установку, при неможливості цього – за принципом взаємозамінності баз;

10. Оброблення поверхонь, що вимагають спеціальних складних наладок, необхідно виносити в окремі операції;

11. При завершальній обробці поверхонь необхідно виключати переходи, які вимагають повороту різцетримача або револьверної головки;

12. Кріпильні отвори необхідно обробляти в кінці технологічного процесу, за винятком випадків, коли окремі з них входять в комплект загальних технологічних баз;

13. При застосуванні багатоінструментальних наладок необхідно забезпечити її однорідність;

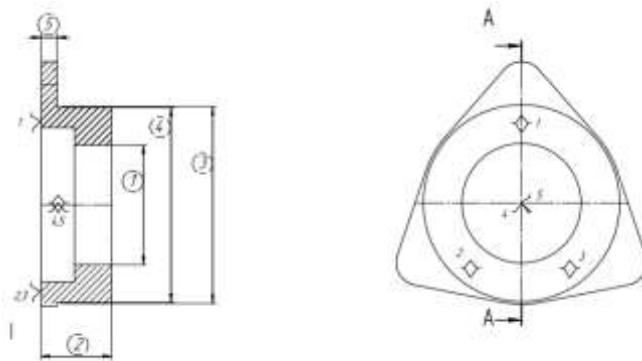
14. Кількість інструментів, яка запроектована для виконання операції, не повинна перевищувати ємності магазину;

15. Послідовність оброблення поверхонь повинна забезпечити потрібну якість виконання деталі.

У відповідності до цих рекомендацій та згідно з вибраним маршрутом оброблення поверхонь і послідовністю технологічних переходів, необхідних для досягнення заданої точності та якості поверхонь, проектуємо можливий технологічний процес оброблення, обладнання, яке можна застосувати, а також системи інструментів і технологічного оснащення.

#### **005 Багатоцільова з ЧПУ на HAAS ST-20-Y р ЧПК.**

А. Установити , закріпити, зняти



Позиція 1

005.01 Точити базову площину O1 попередньо, витримуючи розміри 2,3.

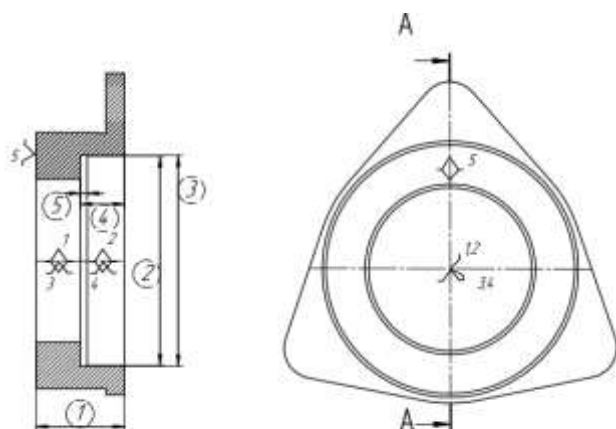
005.02 Точити базову площину O2 попередньо, витримуючи розміри 3, 4.

005.03 Розточити канавку ДЗ попередньо, витримуючи розміри 4,3.

005.04 Точити площину Д4 попередньо, витримуючи розмір 5.

#### **010 Багатоцільова з ЧПУ на HAAS ST-20-Y р ЧПК.**

А. Установити , закріпити, зняти

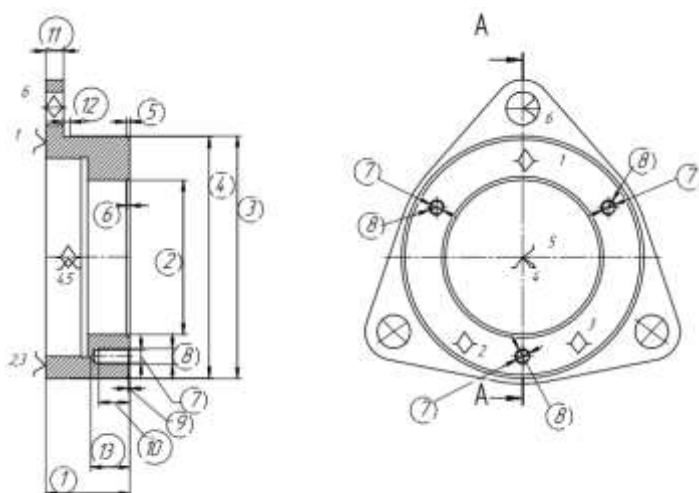


#### Позиція 1

- 010.01 Розточити канавку Д8 попередньо, витримуючи розмір 1.
- 010.02 Проточити отвір Д2 попередньо, витримуючи розмір 1.
- 010.03 Проточити отвір Д7 попередньо, витримуючи розміри 2,3.
- 010.04 Точити поверхню Д9 попередньо, витримуючи розміри 4,5,1.
- 010.05 Проточити торець Д10 попередньо, витримуючи розмір 1.

#### 015 Багатоцільова з ЧПУ на HAAS VF-1p ЧПК.

А. Установити , закріпити, зняти



Позиція 1

015.01 Точити базову площину О1 остаточно, витримуючи розміри 1,3.

015.02 Проточити отвір Д2 остаточно, витримуючи розмір 2.

015.03 Точити циліндричну поверхню О2 остаточно, витримуючи розміри 3,4.

015.04 Точити поверхню Д3 остаточно, витримуючи розміри 4,12.

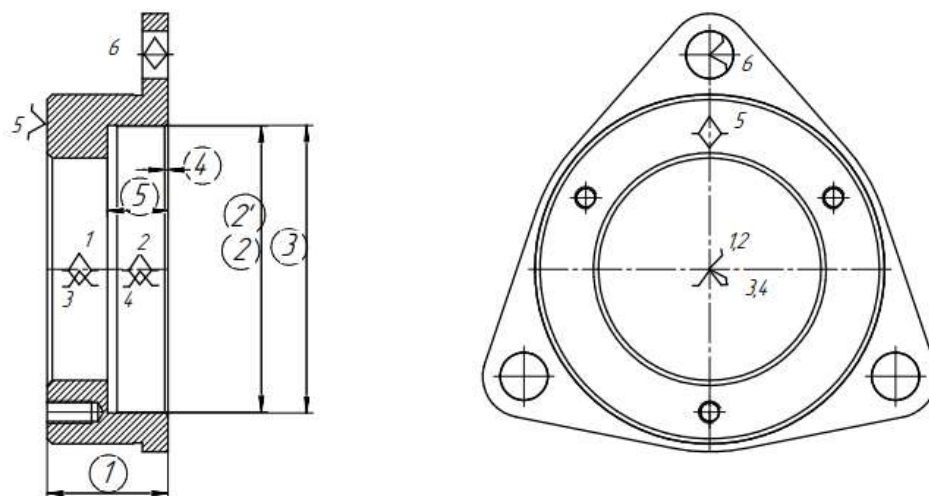
015.05 Точити фаску В4 остаточно, витримуючи розмір 5.

015.06 Точити фаску В2 остаточно, витримуючи розмір 6.

015.07 Точити торець Д4 остаточно, витримуючи розмір 11.

#### 020 Багатоцільова з ЧПУ на HAAS ST-20-Y р ЧПК.

А. Установити , закріпити, зняти



Позиція 1

020.01 Точити торець Д10 остаточно, витримуючи розмір 1.

020.02 Розточити отвір Д7 остаточно, витримуючи розміри 2,1,5 .



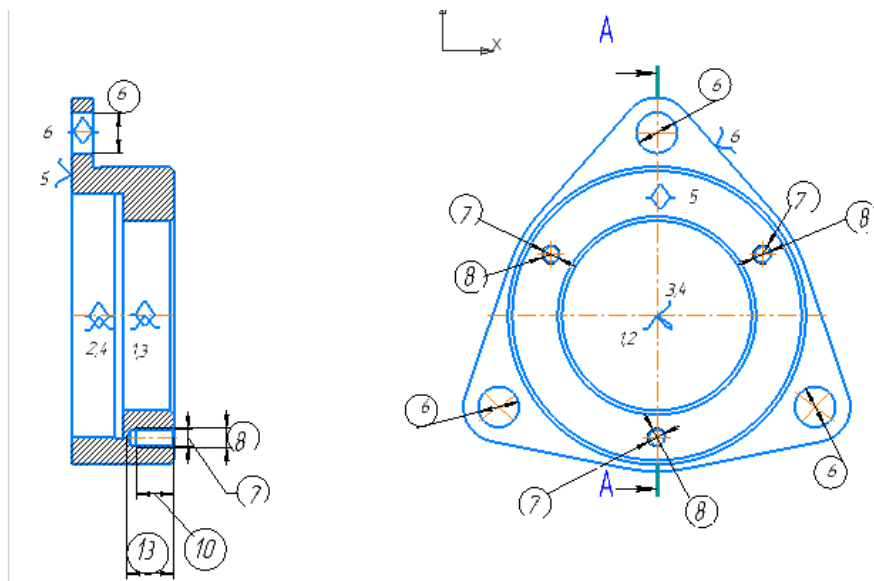
020.03 Розточити канавку Д8 остаточно, витримуючи розміри 2', 3, 5.

020.04 Проточити фаску В3 остаточно, витримуючи розміри 4,5,2'

020.05 Проточити поверхню Д9, витримуючи розміри 5, 2'.

**025 Багатоцільова з ЧПУ на HAAS ST-20-Y р ЧПК.**

А. Установити , закріпити, зняти



Позиція 1

025.01Свердлити отвори К1, К2, О3 остаточно, витримуючи розмір 6.

025.02Свердлити отвори Д1,Д5,Д6 остаточно, витримуючи розмір 7, 10.

025.03 Зенкерувати отвори Д1, Д5, Д6 остаточно, витримуючи розмір 7, 10.

025.04 Нарізати нарізь Д1, Д5, Д6 остаточно, витримуючи розміри 7,8,10, 13.

030. Контрольна

### 3.7 Короткий опис вибору верстатного обладнання

Токарний центр з ЧПУ з віссю Y; макс. місткість 12 "x 21" (305 x 533 мм), прутка 2,0 "(51 мм), діаметр оброблюваного виробу 31,75" (806 мм), переміщення по осі Y  $\pm 2,00$  "( $\pm 50,8$  мм), векторний привід 20 к.с. (14,9 кВт), 4000 об / хв, шпиндель A2-6, патрон 8,3 "(210 мм), 12-позиційна головка, інструменти з високим крутним моментом і віссю c, 15-дюймовий кольоровий рідкокристалічний дисплей, кнопковий вимикач для блокування пам'яті, USB-вхід і система жорсткого нарізання різьби. Включений стандартний комплект інструментальних оправок.

Зміст технологічної операції оброблення загальної технологічної бази деталі "Стакан" наведено нижче.

Деталь «Корпус» буде оброблятися на горизонтально-токарному центрі HAAS ST-20-Y р ЧПК.



Макс. устанавливаемый диаметр над станкой, мм	806	Перемещение по оси Z, мм	533
Макс. устанавливаемый диаметр над кареткой, мм	527	Макс. осевое усилие, кН	22,7
Макс. обрабатываемый диаметр (зависит от револьвера), мм	305	Макс. скорость холостых подач, м/мин	34
Макс. длина обработки (без патрона), мм	533	Тип револьвера	BMT65
Диаметр 3-х кулачкового патрона, мм	210	Количество инструментальных гнезд в револьвере, шт	12/24*
Макс. диаметр обрабатываемого прутка, мм	51	Макс. количество привода станций, шт	12
Диаметр отверстия в шпинделе, мм	76	Макс. скорость вращения привода инструмента, об/мин	6000
Макс. частота вращения шпинделя, об/мин	4000/5000*	Конус пиноли задней бабки, W	4*
Максимальная крутящая момент, Нм	203	Точность позиционирования, мм	±0,0050
Максимальная мощность шпинделя, кВт	14,9	Повторяемость, мм	±0,0025
Перемещение по оси X, мм	236	Объем баки СОЖ, л	208
Перемещение по оси Y, мм	±50,8	Ориентировочная масса станка (зависит от комплектации), кг	5580

Рис. 3.9 Верстат HAAS ST-20-Y та його характеристики

### 3.8 Визначення припусків на обробку поверхні

#### 3.8.1 Розрахунок припусків для отвору $\varnothing 90H7(^{+0,035})$ .

Технологічна послідовність оброблення поверхні:

- розточування попереднє;
- розточування попереднє;
- розточування остаточне.

Величину розрахункового мінімального припуску на операцію (перехід) визначаємо за наступною формулою:

$$2z_{\min} = 2 \left[ (R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2} \right] \quad (3.6)$$

де  $R_{zi-1}$  - висота мікронерівностей, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм;

$h_{i-1}$  - глибина дефектного шару, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм;

$\Delta_{\Sigma i-1}$  - сумарне значення просторових відхилень, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм;

$\varepsilon_{yi}$  - похибка установки заготовки в пристосуванні на даній операції, мкм;

Висоту мікронерівностей  $R_{zi-1}$  та глибину дефектного шару  $h_{i-1}$  вибираємо за таблицями.[12]

Сумарне значення просторових відхилень для оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь визначаємо за формулою:

$$\Delta_{\Sigma i-1} = K_y \cdot \Delta \quad (3.7)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення.

$\Delta$  – відхилення розташування поверхонь.

#### Заготовка

Відхилення розташування поверхонь:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{жол}}^2 + \Delta_{\text{зм}}^2}$$

$$\Delta_{\text{жол}} = \sqrt{(\Delta_{\text{п.жол}} d)^2 + (\Delta_{\text{п.жол}} L)^2} = \sqrt{(1 \times 90)^2 + (1 \times 16)^2} = 0,091 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{зм}} = \sqrt{\Delta_{\text{зм.в}}^2 + \Delta_{\text{зм.г}}^2}$$

$$\Delta_{\text{зм.в}} = T / 2 = 3,2 / 2 = 1,6 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{зм.г}} = T / 2 = 3,2 / 2 = 1,6 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\text{зм}} = \sqrt{1,6^2 + 1,6^2} = 1,6 \text{ мкм}$$

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{0,091^2 + 1,6^2} = 1,6026 \text{ мм} = 1603 \text{ мкм}$$

Висота мікронерівностей та глибина дефектного шару:

$$R_z + h = 600 \text{ мкм}$$

Розточування попереднє

Відхилення розташування поверхонь:

$$\Delta = 0,06 \cdot 1603 = 96,18 \text{ мкм.}$$

Висота мікронерівностей:  $R_z = 100 \text{ мкм.}$

Глибина дефектного шару:  $h = 100 \text{ мкм}$

Похибка установки в пристосуванні:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_0^2 + \varepsilon_s^2}$$

Так, як вимірювальна база співпадає з технологічною, то  $\varepsilon_0 = 0$

$$\varepsilon_s = 110 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_y = \sqrt{0^2 + 110^2} = 110 \text{ мкм}$$

Розточування попереднє

Відхилення розташування поверхонь:

$$\Delta = 0,05 \cdot 1603 = 80,15 \text{ мкм.}$$

Висота мікронерівностей:  $R_z = 50 \text{ мкм.}$

Глибина дефектного шару:  $h = 50 \text{ мкм.}$

Похибка установки в пристосуванні:

$$\varepsilon_y = 0,05 \cdot 110 = 5,5 \text{ мкм}$$

Розточування остаточне

Висота мікронерівностей:  $R_z=25 \text{ мкм}$ .

Глибина дефектного шару:  $h_i=25 \text{ мкм}$ .

Похибка установки в пристосуванні:  $\varepsilon_y=5,5 \text{ мкм}$ .

Визначаємо значення мінімальних припусків:

Розточування попереднє

$$2Z_{1\min} = 2\left(300 + 300 + \sqrt{1603^2 + 110^2}\right) = 4413 \text{ мкм}$$

Розточування попереднє

$$2Z_{2\min} = 2\left(100 + 100 + \sqrt{96,18^2 + 5,5^2}\right) = 592 \text{ мкм}$$

Розточування остаточне

$$2Z_{3\min} = 2\left(50 + 50 + \sqrt{80,15^2 + 5,5^2}\right) = 180 \text{ мкм}$$

Допуски на кожному переході приймаємо квалітетами, що відповідають точності обробки на переході що розглядається:

Заготовка

$$T = 870 \text{ мкм}$$

Розточування попереднє

$$T = 350 \text{ мкм}$$

Розточування попереднє

$$T = 87 \text{ мкм}$$

Розточування остаточне

$$T = 35 \text{ мкм}$$

Максимальний розрахунковий розмір (максимальний розмір деталі):

$$d_{\max} = d_{\min} + Td = 90 + 0,04 = 90,04 \text{ мм} \quad (3.8)$$

Максимальний розмір на попередньому переході:

$$d_{\max i-1} = d_{\max i} - 2z_{\min i} \quad (3.9)$$

Найбільші граничні значення по всіх технологічним переходам округлюють зменшенням їх до того ж знаку дробу, з яким даний допуск на розмір для кожного переходу.

Знаходимо фактичні значення припусків:

$$\begin{aligned} 2Z_{\max} &= d_{\min i} - d_{\min i-1} \\ 2Z_{\min} &= d_{\max i} - d_{\max i-1} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Визначаємо загальні припуски на оброблення:

$$\begin{aligned} 2Z_{\min}^{заг} &= 4930 + 860 + 230 = 6110 \text{ мкм} \\ 2Z_{\max}^{заг} &= 4410 + 600 + 180 = 5190 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Виконуємо перевірку вірності розрахунків:

$$2Z_{\Sigma \max 3}^{rp} - 2Z_{\Sigma \min 3}^{rp} = 0,230 - 0,180 = 0,05 \text{ мм.}$$

$$T_2 - T_3 = 0,087 - 0,035 = 0,052 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\Sigma \max 2}^{rp} - 2Z_{\Sigma \min 2}^{rp} = 0,860 - 0,600 = 0,26 \text{ мм.}$$

$$T_1 - T_2 = 0,35 - 0,087 = 0,263 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\Sigma \max 1}^{rp} - 2Z_{\Sigma \min 1}^{rp} = 4,930 - 4,410 = 0,52 \text{ мм.}$$

$$T_{\text{заг}} - T_1 = 0,87 - 0,35 = 0,52 \text{ мм.}$$

Таблиця 3.3 Припуски на оброблення

Методи оброблення поверхні Ø90H7	Т	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$ , мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск на виготовлення, мкм	Розміри по переходам		Граничні припуски	
		$R_z$	h	$\Delta$	$\varepsilon$				$d_{\min, M}$	$d_{\max, M}$	$2Z_{\min}$ , мкм	$2Z_{\max}$ , мкм
Виливок		300	300	1603	-	-	84,85	70	3,98	84,85	-	-
Розточування попереднє	12	100	100	6,18	10	4413	89,263	50	8,91	89,26	930	410
Розточування попереднє	9	50	50	0,15	5,5	592	89,855	7	9,77	89,86	60	00
Розточування остаточне	7	25	25	-	-	180	90,035	35	90	90,04	230	180
										$\Sigma$	6110	5190

### 3.8.2 Розрахунок припусків на площину 8h8(-0,022).

Технологічна послідовність оброблення поверхні:

- розточування попереднє;
- розточування остаточне.

Величину розрахункового мінімального припуску на операцію (перехід) визначаємо за наступною формулою:

$$Z_{\min} = R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \Delta_{\Sigma_{i-1}} + \varepsilon_{yi}, \quad (3.12)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  - висота мікронерівностей, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм; [7]

$h_{i-1}$  - глибина дефектного шару, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм;

$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$  - сумарне значення просторових відхилень, які залишаються після попередньої операції або переходу, мкм;

$\varepsilon_{yi}$  - похибка установки заготовки в пристосуванні на даній операції, мкм;

Висоту мікронерівностей  $R_{z_{i-1}}$  та глибину дефектного шару  $h_{i-1}$  вибираємо за таблицями.[8]

Сумарне значення просторових відхилень для оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь визначаємо за формулою:

$$\Delta_{\Sigma_{i-1}} = K_y \cdot \Delta \quad (3.13)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт уточнення.

$\Delta$  – відхилення розташування поверхонь.

#### Заготовка

Відхилення розташування поверхонь:

$$\Delta_{\Sigma_{302}} = \Delta_{\text{п.жол}} L$$

$$\Delta_{\Sigma_{302}} = 1 \cdot 30 = 0,03 \text{ мкм}$$

Висота мікронерівностей та глибина дефектного шару:

$$R_z + h = 600 \text{ мкм}$$

#### Розточування попереднє

Відхилення розташування поверхонь:

$$\Delta = 0,06 \cdot 30 = 1,8 \text{ мкм.}$$

Висота мікронерівностей:  $R_z = 100 \text{ мкм.}$

Глибина дефектного шару:  $h = 100 \text{ мкм}$

Похибка установки в пристосуванні:[12]



$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_o^2 + \varepsilon_s^2}$$

Так, як вимірювальна база співпадає з технологічною, то  $\varepsilon_o = 0$

$$\varepsilon_s = 110 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_y = \sqrt{0^2 + 110^2} = 110 \text{ мкм}$$

#### Розточування остаточне

Відхилення розташування поверхонь:

$$\Delta = 0,05 \cdot 30 = 1,5 \text{ мкм.}$$

Висота мікронерівностей:  $R_z = 50 \text{ мкм.}$

Глибина дефектного шару:  $h = 50 \text{ мкм.}$

Похибка установки в пристосуванні:

$$\varepsilon_y = 0,05 \cdot 110 = 5,5 \text{ мкм}$$

#### Розточування попереднє

$$Z_{1\min} = 200 + 200 + 30 + 110 = 540 \text{ мкм}$$

#### Розточування остаточне

$$Z_{2\min} = 100 + 100 + 1,8 + 5,5 = 207,3 \text{ мкм}$$

Допуски на кожному переході приймемо квалітетами, що відповідають точності обробки на переході що розглядається:

#### Заготовка

$$T = 360 \text{ мкм}$$

#### Розточування попереднє

$$T = 150 \text{ мкм}$$

#### Розточування попереднє

$$T = 22 \text{ мкм}$$

Максимальний розрахунковий розмір (максимальний розмір деталі):

$$d_{\max} = d_{\min} + Td = 8 - 0,022 = 7,978 \text{ мм} \quad (3.14)$$

Максимальний розмір на попередньому переході:

$$d_{\max i-1} = d_{\max i} - 2z_{\min i} \quad (3.15)$$

Найбільші граничні значення по всіх технологічним переходам округлюють зменшенням їх до того ж знаку дробу, з яким даний допуск на розмір для кожного переходу.

Знаходимо фактичні значення припусків:

$$\begin{aligned} Z_{\max} &= l_{\max i} - l_{\max i-1} \\ Z_{\min} &= l_{\min i} - l_{\min i-1} \end{aligned} \quad (3.16)$$

Визначаємо загальні припуски на оброблення:[7]

$$\begin{aligned} Z_{\min}^{\text{заг}} &= 540 + 210 = 750 \text{ мкм} \\ Z_{\max}^{\text{заг}} &= 750 + 340 = 1090 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (3.17)$$

Виконуємо перевірку вірності розрахунків:

$$Z_{\Sigma \max 2}^{\text{гр}} - Z_{\Sigma \min 2}^{\text{гр}} = 0,340 - 0,210 = 0,13 \text{ мм.}$$

$$T_1 - T_2 = 0,15 - 0,022 = 0,128 \text{ мм.}$$

$$Z_{\Sigma \max 1}^{\text{гр}} - Z_{\Sigma \min 1}^{\text{гр}} = 0,750 - 0,540 = 0,21 \text{ мм.}$$

$$T_{\text{заг}} - T_1 = 0,36 - 0,15 = 0,21 \text{ мм.}$$

Таблиця 3.4 Припуски на оброблення

Методи оброблення площини 13h11	Т	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск $Z_{\min}$ , мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск на виготовлення, мкм	Розміри по переходам		Граничні припуски	
		$R_z$	h	$\Delta$	$\epsilon$				min, м	max, м	min, км	max, км
Виливок	-	00	00	0		-	8,7253	360	8,73	9,09	-	-
Розточування попереднє	12	100	100	1,8	110	540	8,1853	150	8,19	8,34	540	750
Розточування остаточне	11	50	50	1,5	5,5	207,3	7,978	22	7,98	8,0	210	340
											$\Sigma$	1090

### 3.8.3 Визначення припусків на оброблення аналоговим методом[12]

Результати розрахунків зводимо до таблиці 3.5

Таблиця 3.5 – Припуски на оброблення аналоговим методом

Параметри	Ø110h6; Ra 2,5;	Ø70H8; Ra 2,5;	36; Ra 5;
Допуск на розмір вливка (3,с.2, табл.1)	4,0(±2,0)	3,6(±1,8)	2,8(±1,4)
Прийнята остаточ- на обробка для за- безпечення заданої якості деталі	Напівчис- това	Напівчи- стова	Напівчис- това
Загальний припуск на сторону (8 ряд припусків)	4,8	4,3	3,6
Остаточний розмір вливка	119,6±2,0	61,4±1,8	43,2±1,4

### 3.9 Розрахунок режимів різання

#### 3.9.1 Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом

Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом для отвору  $\varnothing 90\text{H7}^{(+0,035)}$

##### Розточування попереднє

Матеріал - Сталь 45Л (по ГОСТ 977-88).

Інструмент: Розточний різець Sandvik Coromant з пластиною із твердого сплаву (**CNMG 12 04 08-PR 4335**), матеріал – GC4325. Параметри:  $l_c = 12,7$  мм,  $l_e = 12,096$  мм,  $s = 4,763$  мм,  $\alpha = 80^\circ$ ,  $r_c = 0,794$  мм.

Устаткування: Горизонтально-токарний центр HAAS ST-20-Y.

Глибина різання:  $h = 2,663$  мм.

Подача:  $S = 0,29$  мм/об.

$$1) \text{Швидкість різання: } V = \frac{C_v}{T^m \cdot h^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

де  $C_v = 420$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ ;  $m = 0,2$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv},$$

де  $K_{mv} = \frac{750}{\sigma_B}$  – коефіцієнт, який враховує вплив фізико – механічних

властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання;

$K_{pv} = 0,85$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 1$  – коефіцієнт, який враховує якість матеріал ріжучого інструмента;

$T = 15$  хв – період стійкості різця;

$$K_{mv} = \frac{750}{800} = 0,94.$$

$$K_v = 0,94 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,8.$$

$$V = \frac{420}{15^{0,2} \cdot 4,413^{0,15} \cdot 0,29^{0,35}} \cdot 0,8 = 241,31 \text{ м/хв.}$$

2) Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 241,31}{3,14 \cdot 89,263} = 860,94 \text{ об/хв.}$$

3) Подача:  $S_{хв} = S \cdot n = 0,29 \cdot 860,94 = 249,67$  мм/хв.

4) Головна складова сили різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot h^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p,$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,75$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp} = 1,05 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1,03,$$

$$\text{де, } K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{800}{750}\right)^{0,75} = 1,05, n = 0,75;$$

$$K_{\gamma p} = 1, K_{\phi p} = 0,89, K_{rp} = 1,1,$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 4,413^1 \cdot 0,29^{0,75} \cdot 241,31^{-0,75} \cdot 1,03 = 4729,41 \text{ Н.}$$

$$5) \text{ Потужність різання: } N = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{4729,41 \cdot 241,31}{1000 \cdot 60} = 19,02 \text{ кВт,}$$

Так як максимальна потужність шпинделя  $N=14,9$  кВт, а потужність різання  $N=19,02$  кВт, треба зменшити швидкість різання.

$$6) \text{ Основний час обробки: } T_o = \frac{L}{S_{\text{хв}}} = \frac{(l + l_{\text{вр.}} + l_{\text{пер.}})}{S_{\text{хв}}} = \frac{(19+0,5+0,5)}{249,67} = 0,08 \text{ хв.}$$

## 2) Розточування попереднє.

Матеріал - Сталь 45Л (по ГОСТ 977-88).

Інструмент: Розточний різець Sandvik Coromant з пластиною із твердого сплаву (CNMG 12 04 08-PF 4305), матеріал – GC4325. Параметри:  $l_c = 12,096$  мм,  $l_e = 12,7$  мм,  $s = 4,763$  мм,  $\alpha = 80^\circ$ ,  $r_c = 0,794$  мм.

Устаткування: Горизонтально-токарний центр HAAS ST-20-Y.

Глибина різання:  $h = 0,592$  мм.

Подача:  $S = 0,11$  мм/об.

$$1) \text{ Швидкість різання: } V = \frac{C_v}{T^m \cdot h^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

де  $C_v = 420$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ ;  $m = 0,2$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv},$$

де  $K_{mv} = \frac{750}{\sigma_B}$  – коефіцієнт, який враховує вплив фізико – механічних

властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання;

$K_{pv} = 0,85$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 1$  – коефіцієнт, який враховує якість матеріал ріжучого інструмента;

$T = 15$  хв – період стійкості різця;

$$K_{mv} = \frac{750}{800} = 0,94.$$

$$K_v = 0,94 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,8.$$

$$V = \frac{420}{15^{0,2} \cdot 0,592^{0,15} \cdot 0,11^{0,35}} \cdot 0,8 = 457,92 \text{ м/хв.}$$

2) Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 457,92}{3,14 \cdot 89,855} = 1622,99 \text{ об/хв.}$$

3) Подача:  $S_{\text{хв}} = S \cdot n = 0,11 \cdot 1622,99 = 178,53$  мм/хв.

4) Головна складова сили різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot h^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p,$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,75$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp} = 1,05 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1,03,$$

де,  $K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{800}{750}\right)^{0,75} = 1,05$ ,  $n = 0,75$ ;

$K_{yp} = 1$ ,  $K_{fp} = 0,89$ ,  $K_{rp} = 1,1$ ,

$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,592^1 \cdot 0,11^{0,75} \cdot 457,92^{-0,75} \cdot 1,03 = 386,52$  Н.

5) Потужність різання:  $N = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{386,52 \cdot 457,92}{1000 \cdot 60} = 2,95$  кВт,

6) Основний час обробки:  $T_o = \frac{L}{S_{XB}} = \frac{(l + l_{вп.} + l_{пер.})}{S_{XB}} = \frac{(19 + 0,5 + 0,5)}{178,53} = 0,11$  хв.

### 3) Розточування завершальне.

Матеріал - Сталь 45Л (по ГОСТ 977-88).

Інструмент: Розточний різець Sandvik Coromant з пластиною із твердого сплаву (TR-VB1312-F 4325), матеріал – GC4325. Параметри:  $l_c = 8,0$  мм,  $l_e = 11,8$  мм,  $s = 4,525$  мм,  $\alpha = 35^\circ$ ,  $r_c = 1,191$  мм.

Устаткування: Горизонтально-токарний центр HAAS ST-20-Y.

Глибина різання:  $h = 0,180$  мм.

Подача:  $S = 0,10$  мм/об.

1) Швидкість різання:  $V = \frac{C_v}{T^m \cdot h^x \cdot S^y} \cdot K_v$ ,

де  $C_v = 420$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ ;  $m = 0,2$

$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv}$ ,

де  $K_{mv} = \frac{750}{\sigma_B}$  – коефіцієнт, який враховує вплив фізико – механічних

властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання;

$K_{pv} = 0,85$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 1$  – коефіцієнт, який враховує якість матеріал ріжучого інструмента;

$T = 15$  хв – період стійкості різця;

$K_{mv} = \frac{750}{800} = 0,94$ .

$K_v = 0,94 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,8$ .

$V = \frac{420}{15^{0,2} \cdot 0,180^{0,15} \cdot 0,10^{0,35}} \cdot 0,8 = 566,02$  м/хв.

2) Частота обертання шпинделя:

$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 566,02}{3,14 \cdot 90,035} = 2002,11$  об/хв.

3) Подача:  $S_{XB} = S \cdot n = 0,10 \cdot 2002,11 = 200,21$  мм/хв.

4) Головна складова сили різання:

$P_z = 10 \cdot C_p \cdot h^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p$ ,

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,75$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp} = 1,05 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1,03,$$

$$\text{де, } K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{800}{750}\right)^{0,75} = 1,05, n = 0,75;$$

$$K_{\gamma p} = 1, K_{\varphi p} = 0,89, K_{rp} = 1,1,$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,180^1 \cdot 0,10^{0,75} \cdot 566,02^{-0,75} \cdot 1,03 = 102,67 \text{ Н.}$$

$$5) \text{ Потужність різання: } N = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{102,67 \cdot 566,02}{1000 \cdot 60} = 0,97 \text{ кВт,}$$

$$6) \text{ Основний час обробки: } T_o = \frac{L}{S_{XB}} = \frac{(l + l_{\text{вп.}} + l_{\text{пер.}})}{S_{XB}} = \frac{(19 + 0,5 + 0,5)}{200,21} = 0,10 \text{ хв.}$$

**Визначення режимів різання розрахунково-аналітичним методом для розміру 8h8(-0,022)**

*1) Обточування попереднє.*

Матеріал - Сталь 45Л (по ГОСТ 977-88).

Інструмент: Підрізний різець Sandvik Coromant з пластиною із твердого сплаву (ССМТ 06 02 08-РМ 4335), матеріал – GC4335. Параметри:  $l_c = 6,35$  мм,  $l_e = 5,648$  мм,  $s = 2,381$  мм,  $a = 80^\circ$ ,  $r_c = 0,794$  мм.

Устаткування: Горизонтально-токарний центр HAAS ST-20-Y.

Глибина різання:  $h = 0,540$  мм.

Подача:  $S = 0,09$  мм/об.

$$1) \text{ Швидкість різання: } V = \frac{C_v}{T^m \cdot h^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

$$\text{де } C_v = 420; x = 0,15; y = 0,35; m = 0,2$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv},$$

$$\text{де } K_{mv} = \frac{750}{\sigma_B} - \text{коефіцієнт, який враховує вплив фізико – механічних}$$

властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання;

$$K_{pv} = 0,85 - \text{коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;}$$

$K_{uv} = 1$  – коефіцієнт, який враховує якість матеріал ріжучого інструмента;

$$T = 15 \text{ хв} - \text{період стійкості різця;}$$

$$K_{mv} = \frac{750}{800} = 0,94.$$

$$K_v = 0,94 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,8.$$

$$V = \frac{420}{15^{0,2} \cdot 0,540^{0,15} \cdot 0,09^{0,35}} \cdot 0,8 = 498,05 \text{ м/хв.}$$

*2) Частота обертання шпинделя:*

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 498,05}{3,14 \cdot 135} = 1174,92 \text{ об/хв.}$$

$$3) \text{ Подача: } S_{XB} = S \cdot n = 0,09 \cdot 1174,92 = 105,74 \text{ мм/хв.}$$

*4) Головна складова сили різання:*

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot h^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p,$$

де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,75$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp} = 1,05 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1,03,$$

$$\text{де, } K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{800}{750}\right)^{0,75} = 1,05, n = 0,75;$$

$$K_{\gamma p} = 1, K_{\varphi p} = 0,89, K_{rp} = 1,1,$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,540^1 \cdot 0,09^{0,75} \cdot 498,05^{-0,75} \cdot 1,03 = 286,31 \text{ Н.}$$

$$5) \text{ Потужність різання: } N = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{286,31 \cdot 498,05}{1000 \cdot 60} = 2,37 \text{ кВт,}$$

$$6) \text{ Основний час обробки: } T_o = \frac{L}{S_{XB}} = \frac{(l + l_{вр.} + l_{пер.})}{S_{XB}} = \frac{(35 + 0,5 + 0,5)}{105,74} = 0,34 \text{ хв.}$$

## 2) Обточування завершальне.

Матеріал - Сталь 45Л (по ГОСТ 977-88).

Інструмент: Розточний різець Sandvik Coromant з пластиною із твердого сплаву (CNMG 12 04 08-XF 4325), матеріал – GC4325. Параметри:  $l_c = 12,7$  мм,  $l_e = 12,096$  мм,  $s = 4,763$  мм,  $\alpha = 80^\circ$ ,  $r_c = 0,794$  мм.

Устаткування: Горизонтально-токарний центр HAAS ST-20-Y.

Глибина різання:  $h = 0,2073$  мм.

Подача:  $S = 0,05$  мм/об.

$$1) \text{ Швидкість різання: } V = \frac{C_v}{T^m \cdot h^x \cdot S^y} \cdot K_v,$$

де  $C_v = 420$ ;  $x = 0,15$ ;  $y = 0,35$ ;  $m = 0,2$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv},$$

де  $K_{mv} = \frac{750}{\sigma_B}$  – коефіцієнт, який враховує вплив фізико – механічних

властивостей оброблюваного матеріалу на швидкість різання;

$K_{pv} = 0,85$  – коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 1$  – коефіцієнт, який враховує якість матеріал ріжучого інструмента;

$T = 15$  хв – період стійкості різця;

$$K_{mv} = \frac{750}{800} = 0,94.$$

$$K_v = 0,94 \cdot 0,85 \cdot 1 = 0,8.$$

$$V = \frac{420}{15^{0,2} \cdot 0,2073^{0,15} \cdot 0,05^{0,35}} \cdot 0,8 = 706,3 \text{ м/хв.}$$

2) Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 706,3}{3,14 \cdot 135} = 1666,20 \text{ об/хв.}$$

3) Подача:  $S_{XB} = S \cdot n = 0,05 \cdot 1666,20 = 83,31$  мм/хв.

4) Головна складова сили різання:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot h^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p,$$



де  $C_p = 300$ ,  $x = 1$ ,  $y = 0,75$ ,  $n = -0,75$

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\gamma p} \cdot K_{rp} = 1,05 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1,1 = 1,03,$$

$$\text{де, } K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{800}{750}\right)^{0,75} = 1,05, n = 0,75;$$

$$K_{\gamma p} = 1, K_{\varphi p} = 0,89, K_{rp} = 1,1,$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,2073^1 \cdot 0,05^{0,75} \cdot 706,3^{-0,75} \cdot 1,03 = 67,85 \text{ Н.}$$

$$5) \text{ Потужність різання: } N = \frac{P_z \cdot V}{1000 \cdot 60} = \frac{67,85 \cdot 706,3}{1000 \cdot 60} = 0,79 \text{ кВт,}$$

$$6) \text{ Основний час обробки: } T_o = \frac{L}{S_{XB}} = \frac{(l + l_{вр.} + l_{пер.})}{S_{XB}} = \frac{(35 + 0,5 + 0,5)}{83,31} = 0,43 \text{ хв.}$$

### 3.9.2 Визначення режимів різання аналоговими методами

Результати розрахунків і підбору режимів різання зводимо до таблиці 3.6

Таблиця 3.6 Результати розрахунку режимів різання

№ опер.	Перехід	Найменування	Устаткування	h, мм	S, мм/об	n, хв <sup>-1</sup>	V, мм/об	T <sub>о</sub> , хв.
005	005.01. Точити площину попередньо	Багатоцільова з ЧПУ	HAAS ST-20-Y	3,0	0,3	725	160	0,09
	005.02. Точити базову площину попередньо			2,0	0,3	50	85	0,1
	005.03. Розточити канавку попередньо			0,35	0,3	980	340	0,01
	005.04. Точити площину попередньо			0,54	0,09	1175	500	0,34
	005.04. Точити площину попередньо							
010	010.01. Розточити канавку попередньо	Багатоцільова з ЧПУ	HAAS ST-20-Y	0,35	0,3	980	340	0,01
	010.02. Точити отвір попередньо			2,66	0,29	860	241	0,08
	010.02. Точити отвір попередньо			3				
	010.02. Точити отвір попередньо			2,0	0,3	650	185	0,19
	010.03. Точити отвір попередньо			0,5	0,3	865	300	0,04
	010.03. Точити отвір попередньо			2,0	0,3	530	185	0,19

Отформатированная таблица

	редньо 010.04. Точити поверхню попередньо 010.05. Проточити торець попередньо							
015	015.01. Точити базову площину остаточно 015.02. Проточити отвір остаточно 015.03. Точити циліндрич- ну поверхню остаточно 015.04. Точити поверхню остаточно 015.05. Точити фаску ос- таточно 015.06 Точити фаску оста- точно 015.07 Точити торець ос- таточно	Багатоцільова з ЧПУ	HAAS ST-20-Y	1,6	0,2	745	210	0,13
				1,3	0,2	1035	225	0,09
				1,8	0,2	585	202	0,26
				0,15	0,2	1405	483	0,01
				1,6	0,2	610	210	0,08
				1,6	0,2	960	210	0,05
				0,20 73	0,05	1666	706	0,43
020	020.01 Точити торець ос- таточно 020.02 Розточити отвір ос- таточно 020.03 Розточити канавку остаточно	Багатоцільова з ЧПУ	HAAS ST-20-Y	0,20 73	0,05	1666	706	0,43
				0,59 2	0,11	1622	457	0,11
				0,15	0,2	1700	483	0,01
				1	0,2	880	248	0,01
				0,15	0,2	1700	483	0,01

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

	020.05 Проточити фаску остаточно			0,2	0,2	1265	436	0,08
	020.06 Проточити поверхню остаточно							

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

25	025.01 Свердли три наскрізні кріпильні отвори послідовно та остаточно	Багатоцільова з ЧПУ	HAAS VF-1	7,5	0,3	1900	90	0,9
				3	0,3	1150	75	0,8
	025.02 Свердли три отвори послідовно та остаточно			1.0	0,2	680	60	0,4 2
	025.03 Зенкерувати три отвори послідовно та остаточно			0,0 5	1	2960	557	0,0 1
	025.04 Нарізати нарізь трьох отворів послідовно та остаточно							

Отформатировано: Отступ: Первая строка: 0 см

### 3.10 Розрахунок сили затиску

У машинобудуванні найбільше застосування мають трикулачкові самоцентруючі клинові і важільні патрони з гвинтовим і механізованим приводом для переміщення кулачків. З механізованим приводом переміщення кулачків патрони використовують у великосерійному і масовому виробництвах для закріплення штучних заготовок на різних токарних верстатах.

Основні розміри клинових і важільних патронів вибирають по ГОСТ 24351-80.

Сила затиску на кожному кулачку:

$$W_k = \frac{P_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot D_{o.p.}}{n_k \cdot f_{т.п.} \cdot D_{п.к.}} \cdot K_{зап}$$

де  $D_{o.p.}$  – діаметр оброблюваної поверхні заготовки, мм;  $f_{т.п.}$  – коефіцієнт тертя на робочих поверхнях кулачків, з гладкою поверхнею  $f_{т.п.} = 0,25$ , з кільцевими канавками  $f_{т.п.} = 0,35$ , з хрестоподібними канавками  $f_{т.п.} = 0,45$ , з зубами паралельно осі патрона  $f_{т.п.} = 0,8$ ;  $D_{п.к.}$  – діаметр затискається поверхні деталі, мм;  $K_{зап}$  – коефіцієнт запасу.

$$W_k = \frac{102.67 \cdot \sin 90^\circ \cdot 89.263}{3 \cdot 0.25 \cdot 84.85} \cdot 2.7 = 388.8 \text{ Н}$$

де  $n_k$  – число кулачків в патроні,  $n_k = 3$  шт.;  $f_{т.п.}$  – коефіцієнт тертя на робочих поверхнях кулачків,  $f_{т.п.} = 0,8$  (з зубами паралельно осі патрона).

Схеми виконання технічних операцій та креслення оснастки подані у Додатку 1. Результат розрахунку програми з ЧПК наведені у Додатку 2.

### 3.11 Висновки

Практична перевірка отриманих результатів виконана на прикладі синтезу технологічного процесу виготовлення деталі «Стакан». За допомогою розробленої методики та програмного забезпечення був обраний процес отримання заготовки, який став основою для подальшого розроблення маршруту оброблення, змісту технологічних операцій, розрахунку режимів різання та вибору технологічного оснащення.

## Розділ 4. Розробка стартап-проекту

### 4.1 Розробка стартап-проекту

Розділ має на меті проведення маркетингового аналізу стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження. Проведення маркетингового аналізу передбачає виконання нижченаведених кроків.

### 4.2 Опис ідеї проекту

Розробка та налагодження випуску програмного забезпечення «CustomParts» для машинобудівних підприємств, зокрема, коли конструкція виробу проектується одночасно з технологічними процесами її виготовлення.

Проект має на меті виготовлення програми, головною функцією якої буде вибір методу виготовлення заготовки, відсортованих за шорсткістю, допуском, матеріалом, тощо.

Застосування такої продукції значно зменшить фінансові затрати на виготовлення деталей, а також скоротить час на технологічне оброблення, що є актуальними проблемами в наш час у машинобудуванні.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка та налагодження випуску програмного забезпечення «CustomParts»	Машинобудування	Зменшення фінансових затрат та часу на вибір виготовлення заготовки та майбутньої механічної обробки

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів передбачає:

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
	Точність результатів	Мій проект	Проект конкурента	-	-	+
	Безкоштовно			-	-	+
	Швидкість визначення			-	+	-
	Виявлення певних властивостей та процесів на етапі проектування			-	-	+
	Одночасне/паралельне визначення			-	-	+
	Простота використання			-	-	+
	Підвищення продуктивності			-	+	-

### 4.3 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу необхідно провести аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення програми).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових, табл. 4.3:

- За якою технологією буде виготовлена програма згідно ідеї проекту?
- Чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/доробити?
- Чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Створення про-	1. Створення бази	1. Наявні	1. Доступні
2	грами для вибору	даних методів.	2. Наявні	2. Доступні
	методу виготов-	2. Розробка алго-	3. Наявні	3. Доступні
	лення	ритму вибору ме-	4. Наявні	4. Доступні
		тода.		
		3. Написання про-		
		грами		
		4. Її апробація		
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: єдина, що можлива для реалізації				

За всіма показниками проект можливо запустити.

### 4.4 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гра-вців	1
2	Загальний обсяг продаж	до 1000 од. в місяць
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Недовіра до продукції країн-виходців з СРСР та обмеження в застосуванні продукції
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	80%

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи.

Таблиця 4.5 - Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Швидко та точно отри-	Технологи машинобу-	Немає	- Якість результатів - Безкоштовне викорис-



	мання методу виготовлення заготовки	дування		тання - Зручність у використанні - Оновлення баз даних
--	-------------------------------------	---------	--	--

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають, табл. 4.6-4.7. Фактори в таблиці подані в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.6 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція
	Недовіра новому	Недовіра до нового продукту на ринку	Вибір перевіреного товару конкурента в якості прототипу. Лабораторні тестування з відкритими результатами, Спонсорування відомих спортсменів
	Не досконалість	Виявлення недосконалості в продукті порівняно з продуктом конкурента	Перегляд конструкції, усунення недоліків, заміна за гарантією
	Підвищення конкуренції	Поява в асортименті конкурентів аналогічної продукції	Патентування конструкції, створення унікального дизайну, підвищення об'ємів виробництва

Таблиця 4.7 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція
1	Розширення можливостей	Більш точне описання при виборі методу виготовлення заготовки, яке передбачає мінімальне використання механічної обробки	Залучення цих можливостей в модернізацію програмного забезпечення

Аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку

Таблиця 4.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції	Монополія	Зацікавити новітнім оригінальним та якісним продуктом
2. Рівень конкурентної боротьби	Локальна	Вихід продукту на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою	Внутрішньогалузева	Підтверджувати якість продукту
4. Конкуренція за видами товарів:	Товарно-видова	Підтверджувати якість продукту та оригінальність
5. За характером конкурентних переваг	Цінова	Доступність продукту
6. За інтенсивністю	Марочна	Розвиток марки програмного продукту

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі

Таблиця 4.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Прямими конкурентами є схожі проекти та сайти, відкриті для використання	Бар'єром входу на ринок є створення загальної бази даних методів	Постачальник в даному проекті не використовується	Споживачі мають широкую географію	Відсутній товар-замінники
Висновки:	Складно визначити інтенсивність конкуренції	Ця програма є перспективною, має можливість виходу на ринок, потенційних конкурентів мало	Сировина не використовується	Клієнти обирають з того що мають та не диктують умов	Немає обмежень через відсутність товарів-замінників

Отже, товари-замінники відсутні, конкуренція на міжнародному рівні наявна, але продукт перспективний, конкурентоспроможний і має можливість виходу на ринок.

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Таблиця 4.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Недовіра новому	Недовіра до нового продукту на ринку
2	Не досконалість	Виявлення недосконалості в продукті порівняно з продуктом конкурента
3	Підвищення конкуренції	Поява в асортименті конкурентів аналогічної продукції
4	Розширення асортименту	Більш точне визначення, без зайвих затрат.
5	Стандартизація	Впровадження нових стандартів компонентів

За визначеними факторами конкурентоспроможності проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту, табл. 4.11.

Таблиця 4.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з існуючими методами						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Недовіра новому	5							+
	Не досконалість	4	+						
	Підвищення конкуренції	6		+					
	Розширення асортименту	9							+
	Стандартизація	7				+			

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін.

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища.

Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 4.12 - SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Програма розроблена з можливістю більш детального визначення способу виготовлення заготовки, з меншою тратою на механічну подальшу обробку	Слабкі сторони: Конкуренція на міжнародному рівні, працює за підтримки інших програм, вузький профіль застосування
Можливості: Зменшення ціни на даний продукт, розширення можливостей визначення, автоматичний вибір найкращого методу	Загрози: недовіра до марки, малий попит на продукт, збільшення конкурентів на ринку

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів, табл 4.13.

Таблиця 4.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Доробка, усунення недоліків	+	Від 2х до 3х місяців
2.	Публікація результатів готового проекту	+	Від 1го до 2х місяців
3.	Спонсорська підтримка проекту	+	Від 3х до 12ти місяців

#### 4.5 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 4.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Професійна група	±	+	+	±
2	Напівпроф. група	+	+	+	+
3	Аматорська група	+	±	-	+

Які цільові групи обрано: стратегія диференційованого маркетингу

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
		Стратегія диференційованого маркетингу	Розширення лінійки виробів	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки

Таблиця 4.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Забирати існуючих	Буде, стандартизовані характеристики	Наслідування лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Якість, характеристики, зовнішній вигляд	Стратегія диференціації	Масові характеристики	Новизна виробу, цінова політика, якість роботи продукту, виключні характеристики

#### 4.6 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Покращені характеристики	Автоматизований вибір методу виготовлення	Простіше і швидше, більш точне
2	Низька вартість	Знижена собівартість виробу	Нижча ціна
3	Можливість	Розширення лінійки	Ширший асортимент то-



	вибору		вару для всіх груп потенційних покупців
--	--------	--	---

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання.

Таблиця 4.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Продуктом є програма, завданням якої є вибір методу виготовлення заготовки з визначенням подальшої механічної обробки
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики
	Висока швидкість виконання роботи
	Широка лінійка методів
	Якість: регламентовано стандартами та нормативами ДСТУ
III. Товар із підкріпленням	Марка: назва товару «CustomParts»
	До продажу: програмний продукт
	Після продажу: технічна підтримка
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: реєстрація торгової марки, організаційні міри захисту, захист програмного забезпечення.	

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу-хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни

відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститутути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів, табл. 4.20. Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Від 80\$	До 1000\$	40-60\$

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення, табл. 4.21:

- Проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- Вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- Вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1		Збут власними силами	міжнародний	структурована
2	Збут через дилерів	Зберігання, сортування, встановлення контакту, інформування	міжнародний	структурована

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, табл 4.22.

Таблиця 4.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Пошук аналогів	Інтернет мережа	Доступність інформації про продукт	Новизна	Якість, характеристики та ціна

#### 4.7 Висновки

З аналізу даного стартапу видно, що він має усі перспективи стати успішним проектом. Значну роль в даному стартапі відіграє фактор новизни на ринку, що одразу приверне увагу потенційних покупців, і знизить конкуренцію на початкових етапах. Головною небезпекою є не виправдання очікувань споживачів, яку наважаться придбати новий продукт, це може звести нанівець усі зусилля прикладені до створення продукту. Тому проект потребує ретельної підготовки, тестувань. У випадку вдалого виходу на ринок відкриваються великі перспективи для розвитку проекту, такі як співпраця з відомими виробниками інструментального забезпечення, а на базі технологій та промислових потужностей можна пробувати свої сили у суміжних галузях.

## ВИСНОВКИ

Основним результатом магістерської дисертації є розширення можливостей автоматизованого вибору первинного процесу формоутворення на ранніх стадіях проектування. Досліджено вплив такого вибору на подальше проектування технологічного процесу оброблення.

На основі порівняльного аналізу процесів лиття та систематизації критеріїв вибору процесу на ранніх стадіях проектування розроблено прототип програмного забезпечення *Custom Part*, яке може бути в майбутньому розвинуто до системи автоматизованої підтримки прийняття рішень на ранніх стадіях розробки.

Практична перевірка отриманих результатів виконана на прикладі синтезу технологічного процесу виготовлення деталі «Стакан». Розроблена методика і програмного забезпечення можуть бути застосовані для вибору процесу лиття.

Розроблений стартап-проект комерціалізації програмного забезпечення свідчить про можливість комерціалізації даної розробки в майбутньому.

Результати роботи будуть використані на виробництві при проектуванні конструкцій деталей та технологічних процесів їх оброблення, у навчальному процесі та для подальшого розвитку програмного забезпечення в комерційних цілях.

Подальші дослідження можуть виконуватись за напрямками: розповсюдження моделі процесу на процеси пластичного деформування, різання, 3D друку і т.д.; розробка моделі оцінки вартості реалізації процесу.

### Список літератури

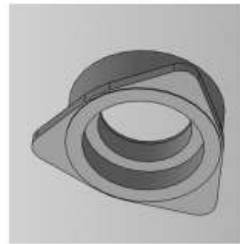
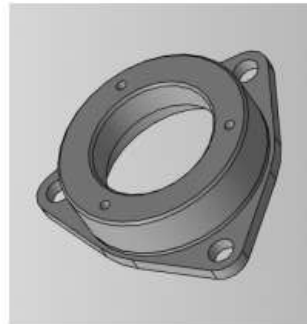
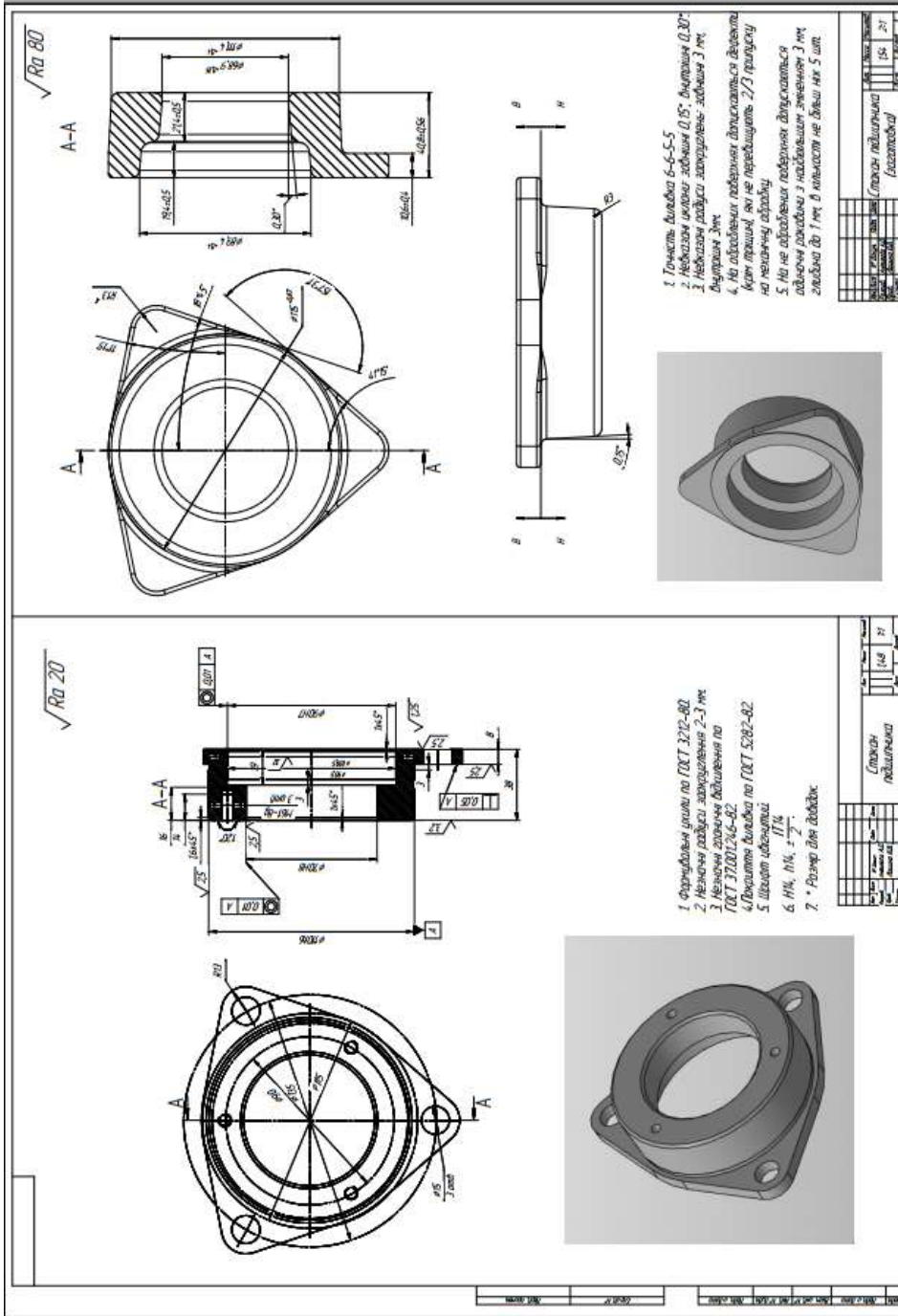
1. Concurrent Design of Products, Manufacturing Processes and Systems / ed. Ben Wang ISBN 10: 9056996282, CRC Press Taylor & Francis Group, 1999
2. Geoffrey Boothroyd, Peter Dewhurst, Winston Anthony Knight. Product design for manufacture and assembly. 3rd ed. ISBN 13: 978-1-4200-8928-8, CRC Press Taylor & Francis Group, 2011
3. GRANTA Design [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://grantadesign.com/about/company/>
4. CustomPart.Net [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.custompartnet.com/>
5. DFMA® | Boothroyd Dewhurst, Inc. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dfma.com/pdf/dfadescription.pdf>
6. DFM Pro® an HCL Technologies Ltd. Product [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dfmpro.geometricglobal.com/>
7. ДСТУ 2541-94 Виробництво ливарне. Терміни та визначення.
8. Лиття у піщані форми [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/Лиття\\_у\\_піщані\\_форми](https://uk.wikipedia.org/wiki/Лиття_у_піщані_форми).
9. Лиття металу: процес, способи, методи - Промисловість – 2019 [Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу: <https://ukr.mentorbizlist.com/3905879-metal-casting-process-methods-methods> .
10. Лиття за газифікованими випалюваних моделях[Електронний ресурс] - Режим доступу до ресурсу:  
[https://stud.com.ua/36325/tovarovnavstvo/littya\\_gazifikovanimi\\_vipalyuvanih\\_modelyah](https://stud.com.ua/36325/tovarovnavstvo/littya_gazifikovanimi_vipalyuvanih_modelyah)
11. Лиття під тиском та інші способи лиття [Електронний ресурс]. – 2014. – Режим доступу до ресурсу: [http://bookwu.net/book\\_livarnе-virobnictvo-metalurgiya\\_1107/7\\_1.3.2.-littya-pid-tiskom-ta-inshi-sposobi-littya](http://bookwu.net/book_livarnе-virobnictvo-metalurgiya_1107/7_1.3.2.-littya-pid-tiskom-ta-inshi-sposobi-littya).
12. Харламов Г. Припуски на механическую обработку. Справочник. / Г. Харламов, А. Тарапанов., 2006. – 256 с.

Код поля изменен

Код поля изменен

13. Косилова А. Г., Мещеряков Р. К., Калинин М. А. Точность обработки, подготовки и припуски в машиностроении. Справочник технолога. М., «Машиностроение», 1976. 288 с. с ил.
14. Boothroyd G. Product design for manufacture and assembly // Computer Aided Design. – 1994. – Vol. 26, №9. – P. 505-520.
15. Cambridge University. Material and Process 2 Selection Charts / Cambridge University., 2010. – 40 с.
16. Лашина Ю. В. Одночасне проектування конструкцій виробів і технологічних процесів їх виготовлення / Ю. В. Лашина, А. А. Антипова, Б. А. Денисенко. // Матеріали за XV міжнародна научна практична конференція, Achievement of high school - 2019 , 15 - 22 November 2019 г.: София.« Бял ГРАД-БГ ». – 2019. – №8. – С. 88–93.
17. Энциклопедический справочник "Машиностроение" , том 4 раздел 2 / [Я. Д. Аврасин, В. А. Аронович, Н. И. Бабкин та ін.]. – М., 1947. – 428 с. – (Государственное научно-техническое издательство МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ).
18. Лиття в кокіль [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [https://stud.com.ua/36322/tovarovnavstvo/littya\\_kokil](https://stud.com.ua/36322/tovarovnavstvo/littya_kokil).
19. Електрошлакове лиття [Електронний ресурс]. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: [https://stud.com.ua/36327/tovarovnavstvo/elektroshlakove\\_littya](https://stud.com.ua/36327/tovarovnavstvo/elektroshlakove_littya).

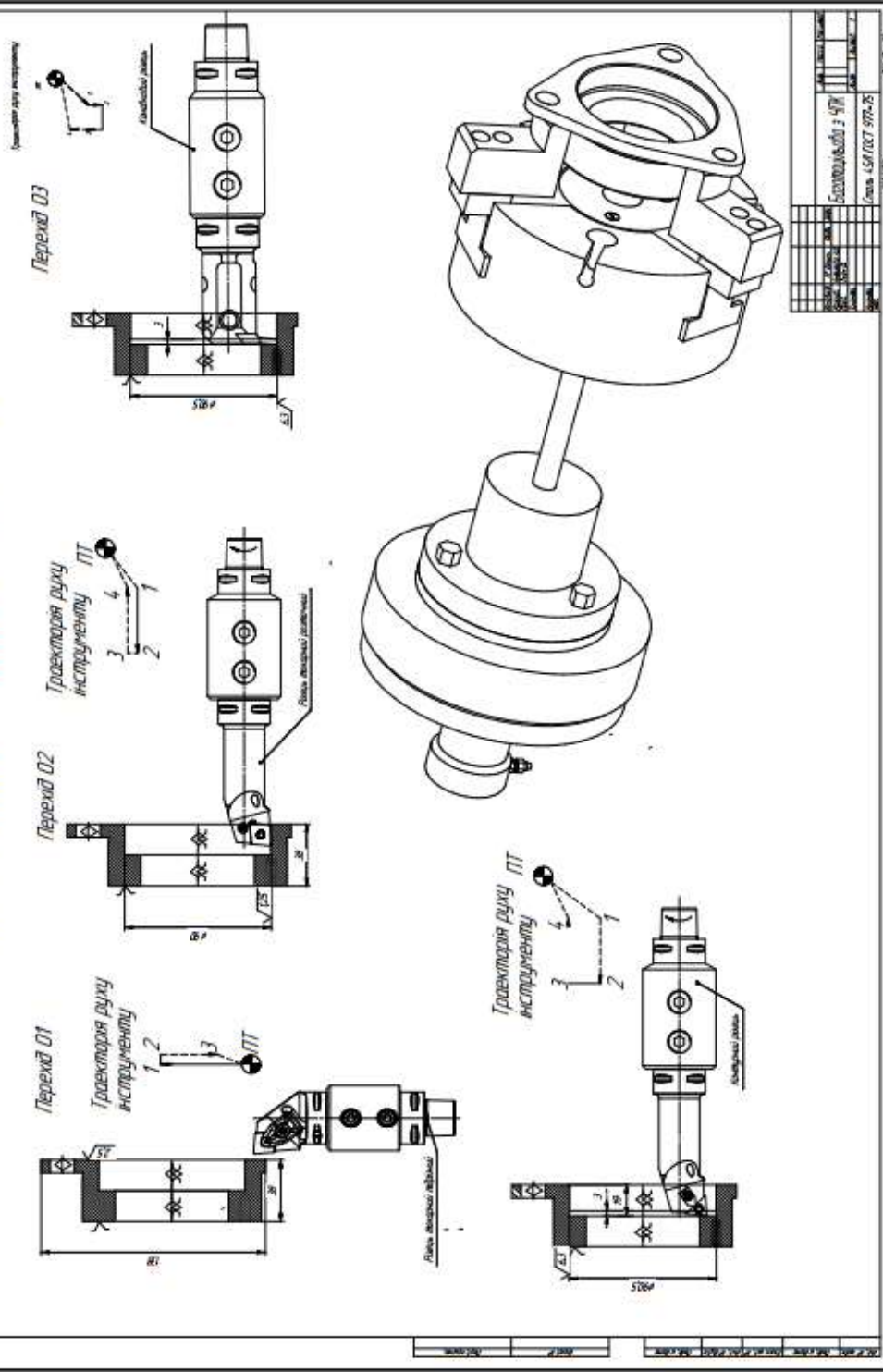
# Додаток А



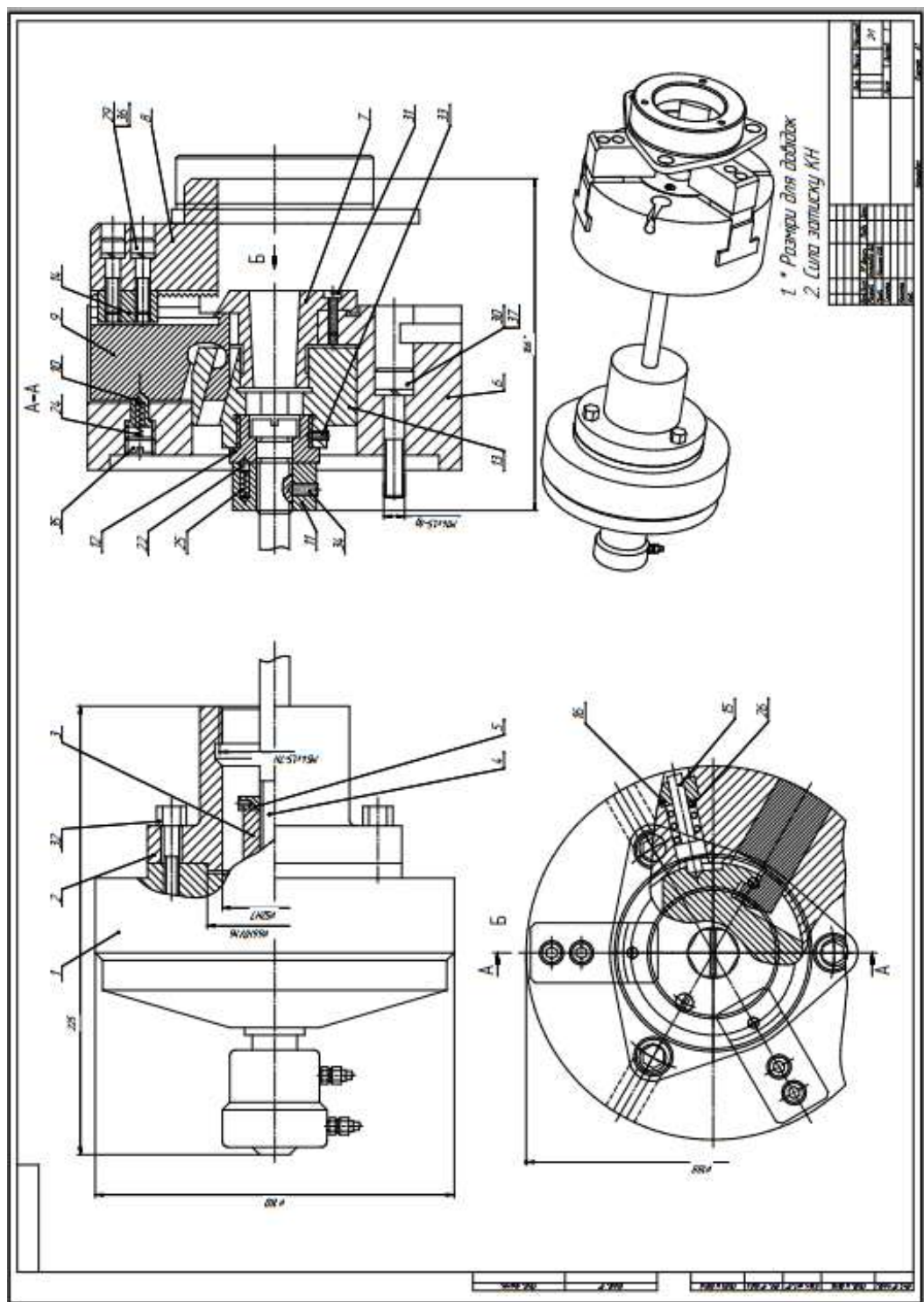




# 020. Багатоотціпова з ЧПК HAAS ST-20-Y







# Додаток Б

Проектування технологічного процесу в САМ системі SolidCAM

005. Багатоцільова з ЧПК HAAS ST-20-Y

Перехід 01



Передикъ 03



Передик 02

[illegible]

# Додаток В



## Фрагмент лістингу програмного забезпечення Custom Part

### Клас Table

```
using System.Data;

namespace CustomParts
{
    class Table : DataTable
    {
        //private const string Recommended = "✓✓✓";
        private const string Executable = "✓";
        private const string Incompatible = "✗";

        private string _Form = "";
        private string _Material = "";
        private double _Mass = 0.00;
        private string _Roughness = "";
        private string _Limit = "";
        private double _Thickness = 0.00;
        private string _Sum = "";
        private string _LeadTime = "";
        public Table()
        {
            AddElements();
        }

        public Table(string Form = "", string Material = "", double Mass = 0.00, string Rough-
ness = "", string Limit = "", double Thickness = 0.00, string Sum = "", string LeadTime = "")
        {
            _Form = Form;
            _Material = Material;
            _Mass = Mass;
            _Roughness = Roughness;
            _Limit = Limit;
            _Thickness = Thickness;
            _Sum = Sum;
            _LeadTime = LeadTime;

            AddElements();
        }

        private void AddElements()
        {
            this.Columns.Add(" ");
            this.Columns.Add("Форма");
            this.Columns.Add("Матеріал");
            this.Columns.Add("Маса");
            this.Columns.Add("Ra");
            this.Columns.Add("Допуск");
            this.Columns.Add("Толщина стенки");
            this.Columns.Add("Время выполнения");
            this.Columns.Add("Количество");
            this.Columns.Add("Механическая обработка");

            SandAndClayCasting();
            LostWaxCasting();
            ChillCasting();
            DieCasting();
            CentrifugalCasting();
            ShellCasting();
        }
        /// <summary>
        /// Литье в песчано-глинистые формы
        /// </summary>
        private void SandAndClayCasting()
        {
            string SACC_Form = "";
            string SACC_Material = "";
            string SACC_Mass = "";
            string SACC_Roughness = "";
            string SACC_Limit = "";
            string SACC_Thickness = "";
            string SACC_LeadTime = "";
            string SACC_Sum = Executable;
```



```

        string tooling = "";
        if (_Form == "Плоская" || _Form == "Сплошная(цилиндрическая)" || _Form == "Сплош-
        ная(кубическая)" || _Form == "Сплошная(сложная)")
            SACC_Form = Executable;
        else
            SACC_Form = Incompatible;

        if (_Material == "Сталь" || _Material == "Чугун" || _Material == "Алюминие-
        сплав" ||

            _Material == "Магнйивые сплавы" || _Material == "Цинковые сплавы")
            SACC_Material = Executable;
        else
            SACC_Material = Incompatible;

        if (_Mass > 7 & _Mass < 70000)
            SACC_Mass = Executable;
        else
            SACC_Mass = Incompatible;

        if (_Thickness > 3.1 & _Thickness < 127.00)
        {
            SACC_Thickness = Executable;
        }
        else
            SACC_Thickness = Incompatible;

        if (_Roughness == "12,5-50")
            SACC_Roughness = Executable;
        else
            SACC_Roughness = Incompatible;

        if (_Limit == "± 1,27")
            SACC_Limit = Executable;
        else
            SACC_Limit = Incompatible;

        if (_LeadTime == "Месяцы")
            SACC_LeadTime = Executable;
        else
            SACC_LeadTime = Incompatible;

        if (SACC_Limit == Incompatible || SACC_Roughness == Incompatible)
            tooling = Executable;
        else
            tooling = Incompatible;

        this.Rows.Add("Литье в песчано-глиняные формы", SACC_Form, SACC_Material, SACC_Mass,
        SACC_Roughness, SACC_Limit, SACC_Thickness, SACC_LeadTime, SACC_Sum, tooling);
    }
    /// <summary>
    /// Литье по выплавляемым моделям
    /// </summary>
    private void LostWaxCasting()
    {
        string LWC_Form = "";
        string LWC_Material = "";
        string LWC_Mass = "";
        string LWC_Roughness = "";
        string LWC_Limit = "";
        string LWC_Thickness = "";
        string LWC_LeadTime = "";
        string LWC_Sum = Executable;
        string tooling = "";

        if (_Mass > 0.5 & Mass <= 150)
            LWC_Mass = Executable;
        else
            LWC_Mass = Incompatible;

        if (_Roughness == "3,2-6,3" || _Roughness == "6,3-12,5" || _Roughness == "12,5-50")
            LWC_Roughness = Executable;
        else
            LWC_Roughness = Incompatible;

        if (_Limit == "± 0,25" || _Limit == "± 0,5" || _Limit == "± 1,27")
            LWC_Limit = Executable;
    }

```

```

else
    LWC_Limit = Incompatible;

if (_Material == "Сталь" || _Material == "Алюминиевые сплавы" ||
_Material == "Магнйивые сплавы" || _Material == "Цинковые сплавы" || _Material
== "Медные сплавы")
    LWC_Material = Executable;
else
    LWC_Material = Incompatible;

if (_Form == "Плоская" || _Form == "Тонкостенная(цилиндрическая)" || _Form == "Тонкос-
тенная(кубическая)" || _Form == "Тонкостенная(комплекс)")
    LWC_Form = Executable;
else
    LWC_Form = Incompatible;

if (_LeadTime == "Недели" || _LeadTime == "Месяцы")
    LWC_LeadTime = Executable;
else
    LWC_LeadTime = Incompatible;

if (_Thickness > 0)
{
    if (_Material == "Алюминиевые сплавы" ||
_Material == "Магнйивые сплавы" || _Material == "Цинковые сплавы" ||
_Material == "Медные сплавы")
    {
        if (_Mass < 2)
            if (_Thickness >= 0.7 & _Thickness <= 2 )
                LWC_Thickness = Executable;
            else
                LWC_Thickness = Incompatible;
        else if (_Mass > 2 & _Mass < 50)
            if (_Thickness >= 2 & _Thickness <= 3.5)
                LWC_Thickness = Executable;
            else
                LWC_Thickness = Incompatible;
        else if (_Mass > 50)
            if (_Thickness >= 4 & _Thickness <= 6)
                LWC_Thickness = Executable;
            else
                LWC_Thickness = Incompatible;
    }
    else if(_Material == "Сталь")
    {
        if (_Mass < 2)
            if (_Thickness == 8)
                LWC_Thickness = Executable;
            else
                LWC_Thickness = Incompatible;
        else if (_Mass > 2 & _Mass < 50)
            if (_Thickness == 12)
                LWC_Thickness = Executable;
            else
                LWC_Thickness = Incompatible;
        else if (_Mass > 50)
            if (_Thickness == 20)
                LWC_Thickness = Executable;
            else
                LWC_Thickness = Incompatible;
    }
}
...

```